

**TALLINNA TEEDE JA TÄNAVATE
KATENDIKONSTRUKTSIOONIDE
DEFORMATSIOONIDE, KULUMISE JA
MUUDE EKSPLUATATSIOONILISTE
OMADUSTE UURIMINE,
ASFALTBETOONKATENDITE
TÜÜPLAHENDUSTE KOOSTAMINE**

ARUANNE



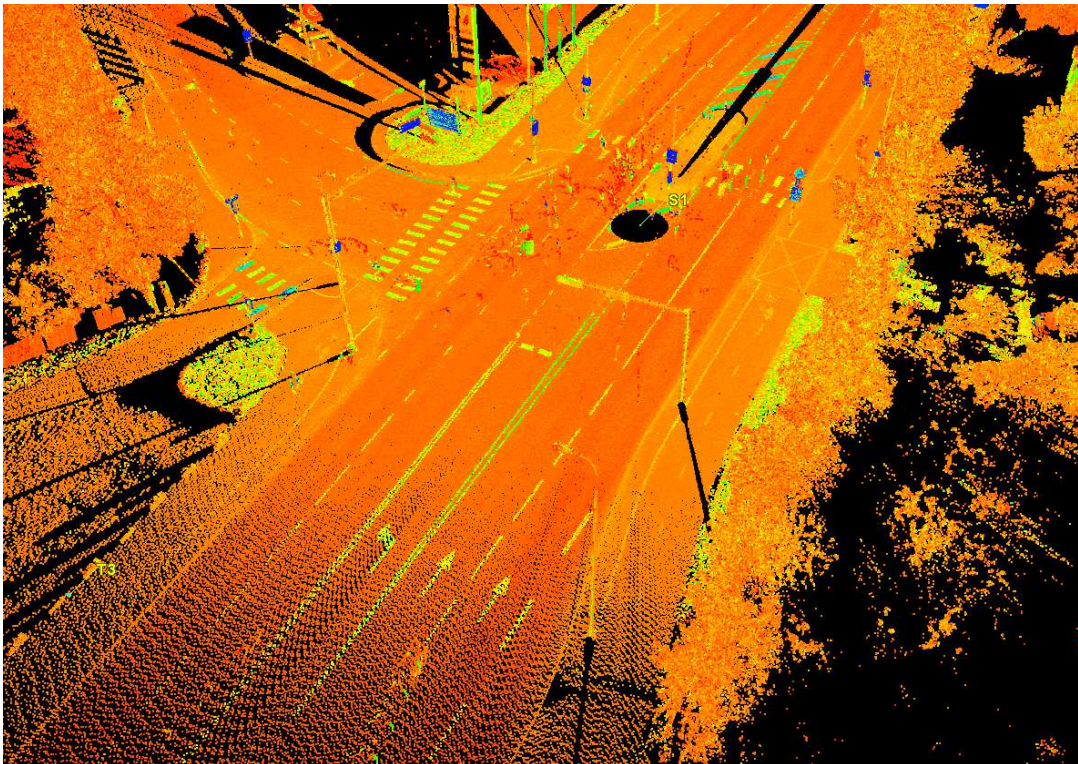
1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TEEDEINSTITUUT

**TALLINNA TEEDE JA TÄNAVATE
KATENDIKONSTRUKTSIOONIDE
DEFORMATSIOONIDE, KULUMISE JA MUUDE
EKSPLUATATSIOONILISTE OMADUSTE UURIMINE.
ASFALTBETOONKATENDITE TÜÜPLAHENDUSTE
KOOSTAMINE.**

ARUANNE



Tellija: Tallinna Kommunaalamet

Vastutav täitja: Prof. Andrus Aavik

Täitjad: Lektor Ain Kendra

Prof. Artu Ellmann

Nooremteadur Kalev Julge

Tallinn, 2014

Sisukord

Lähteülesanne.....	5
Sissejuhatus.....	6
I ASFALTBETOONKATENDITE TÜÜPLAHENDUSTE KOOSTAMINE	7
1. Katendite projekteerimise alustest ja erinevate riikide praktikatest	7
1.1. Katendite liigiline jaotus	7
1.2. Elastsete katendite dimensioneerimise alused.....	7
1.3. Tüüpkatendid meil ja mujal.....	9
1.4. Täiendavad aspektid katendite projekteerimisel	21
1.5. Liiklus	26
2. Tallinna andmestu.....	29
2.1. Liiklus	29
2.1.1. Liiklusloendused	29
2.1.2. Liiklusmodelid	29
2.2. Tänavate liigitus	31
2.3. Seirealade valik	34
3. Tüüpkatendite ettepanek Tallinnale.....	44
3.1. Soome tüüpkatendi koormusanalüüs ja adapteerimine Eesti tingimustele.....	44
3.1.1. Koormusanalüüs.....	44
3.1.2. Soome tüüpkatendi klasside adapteerimine Eestile.....	45
3.2. Eriolukorrad	47
3.2.1. Katendid staatilise koormuse mõjualas	47
3.2.2. Katendid tugeval aluspinnasel.....	47
3.3. Kihtide kandevõime mõõtmistest.....	47
3.4. Seiresse valitud teelõikude konstruktsiooni võrdlus tüüpkatenditega.....	49
3.5. Juhis tüüpkatendite kasutamiseks.....	52
Kokkuvõte.....	54
Kasutatud kirjandus.....	56
Jooniste ja tabelite loetelu	57
Lühendite loetelu.....	57
LISAD.....	59
Lisa 1. Tallinna ristmike liiklussagedused (2013/2014) Signaali seireandmete alusel	59
Lisa 2. Väljavõte Valgevene projekteerimisnormidest - siirdetegurid.....	60

II RISTMIKE DEFORMATSIOONIDE UURINGU 0-TSÜKLI LASERSKANEERIMINE....	62
1. Sissejuhatus ja lühikokkuvõte.....	62
2. Kasutatud instrumendid ja töövahendid	64
2.1. Leica ScanStation C10 terrestriline laserskanner	64
2.2. Trimble S6 robot-tahhümeeter.....	65
2.3. Trimble R8 GNSS vastuvõtja.....	66
2.4. Trimble DiNi 03 digitaalnivelliir	68
3. Mõõdistamismeetodid	69
3.1. Mõõdistamine Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmikul.....	71
3.2. Mõõdistamine Ranna tee ja Muuli tee ristmikul	72
3.3. Mõõdistamine Tartu mnt ja Kanali tee ristmikul	74
3.4. Mõõdistamine Tehnika tänava ja Veskiposti tänava ristmikul.....	75
3.5. Mõõdistamine Männiku teel.....	76
4. Andmetöötlus.....	78
5. Üleantavad materjalid	81
LISAD.....	82
Lisa 1. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku pildimaterjal.....	83
Lisa 2. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku pildimaterjal	87
Lisa 3. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku pildimaterjal	91
Lisa 4. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku pildimaterjal	95
Lisa 5. Männiku tee pildimaterjal	99
Lisa 6. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika	103
Lisa 7. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika	107
Lisa 8. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika.....	110
Lisa 9. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika	114
Lisa 10. Männiku tee registreerimise veahinnang ja statistika.....	117
Lisa 11. Nivelleerimine	120
1. Mõõtelati materjali joonpaisumisteguri mõju mõõtmistulemustele.....	120
2. Nivelliiri vaatekiire horisontaalsuse kontroll	121
3. Mõõtmiste meetodika.....	122
4. Kindelpunktide kõrguste määramine.....	122
5. Nivelleerimiskäikude tulemused	124

Lähteülesanne

I Probleemipüstitus ja taustateave

1. Standardsete lahenduste väljatöötamine ja rakendamine läbi Tallinna asfaltbetoonkatendite eluea tõstmise, teehoiu kulutuste optimeerimise.
2. Alternatiivlahenduste väljatöötamine ristmikuala asfaltbetoonkatenditele.
3. Laiendada kohalike tee-ehitusmaterjalide kasutamist tee-ehituses.
4. Saada informatsiooni erinevate katendikonstruktsioonide ja materjalide töötamisest vastava liikluskoormuse all. Teedehitusmaterjalidele esitatavate nõuete täpsustamine.
5. Töötada välja asfaltbetoonkatendite tüüplahendused lähtudes liikluskoormustest ning geoloogilistest ja hüdrooloogilistest tingimustest.

II Eesmärk

- Asfaltbetoonkatendite põikristlõigete uurimine deformatsioonide ja kulumise tekkemehhanismide määramiseks.
- Uuringutulemuste alusel hinnata ehitatud asfaltbetoonkatendite konstruktsioonide deformatiivseid ja funktsionaalseid omadusi ning vajadusel korrigeerida vastavaid projekteerimis- ja ehitusnõudeid.
- Tallinnas kasutatavate asfaltbetoonkatendite tüüplahenduste kataloogi väljatöötamine.

III Ettenähtud sisu

1. Monitooritavate teede ja tänavate ristmike valimine.
2. Valitud objektidel katte deformatsioonide ja kulumise määramine terrestrialse laserskaneerimisega.
3. Valitud objektidel pinnaseveetaseme monitoorimine.
4. Katendikonstruktsioonis kasutatud materjalide kindlaksmääramine.
5. *Valitud objektide monitooringu kestus 6 aastat (jätkuprojekt, mille järgnevate aastate töö ei kajastu käesolevas lähteülesandes).*
6. Asfaltbetoonkatendite tüüplahenduste läbiarvutamine ning võrdlus naaberriikide vastavate lahendustega
7. Kataloogi ja juhendmaterjali koostamine, vormistamine 3-D mudelite abil.

Sissejuhatus

Käesolev töö on suurema, mitmeaastase projekti esimeseks osaks. Projekti eesmärk on:

- Asfaltbetoonkatendite põikristlõigete uurimine deformatsioonide ja kulumise tekkemehhanismide määramiseks.
- Uuringutulemuste alusel hinnatakse ehitatud asfaltbetoonkatendite konstruktsioonide deformatiivseid ja funktsionaalseid omadusi ning vajadusel korrigeeritakse vastavaid projekteerimis- ja ehitusnõudeid.
- Tallinnas kasutatavate asfaltbetoonkatendite tüüplahenduste kataloogi väljatöötamine.

Töös esitatakse esmased ettepanekud tüüpkatendite kataloogi kujundamiseks. Projekti raames viiakse läbi valitud objektide (Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmik, Ranna tee ja Muuli tee ristmik, Tartu mnt ja Kanali tee ristmik, Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmik, Männiku tee) mitmeaastane seire (fikseeritakse tegelikud liikluskõormused ja tegelikud deformatsioonid). Seire tulemuste analüüsi alusel korrigeeritakse ja täiendatakse tüüpkatendeid ning määratletakse täiendavad nõuded katendite projekteerimise, ehitamise ja eksploatatsiooni osas.

Paralleelsed tegevused hõlmavad deformatsioonide seiret laserskaneerimise teel (katab eelloetletud valitud ristmikualad ning betoonkattega bussipeatused) ning pinnaseveetaseme seiret selleks valitud objektidel.

Käesoleva uuringu vastutavaks täitjaks on TTÜ teedeinstituudi direktor, prof. Andrus Aavik ning täitjateks TTÜ lektor, Ramboll Eesti AS vanemkonsultant Ain Kendra (asfaltbetoonkatete tüüplahenduste koostamine), TTÜ teedeinstituudi geodeesia õppetooli juhataja, prof. Artu Ellmann ja nooremteadur Kalev Julge (ristmike deformatsioonide uuringu 0-tsükli laserskaneerimine).

Aruandes I osas esinevate lühendite seletused on esitatud I osa lõpus (lk. 54).

Käesoleva aruande II osa illustratsioonideks on töö täitjate pildimaterjal ja väljavõtted Maa-ameti Geoportaalist.

I ASFALTBEToonKATENDITE TüÜPLAHENDUSTE KOOSTAMINE

1. Katendite projekteerimise alustest ja erinevate riikide praktikatest

1.1. Katendite liigiline jaotus

Katendid võib jaotada elastseteks ja jäikadeks. Elastsete hulka kuuluvad enamlevinud asfaltkatted (püsikate kuumast asfaltbetoonist) aga ka kergkatted (mustkate) ja siirdekatted (sealhulgas nii pinnatud kui pindamata kruusateed). Jäikadeks loetakse betoonkatendid, kuid tegelikult on olemas ka vahepealne katenditüüp mida poolelastseteks nimetatakse ja mis ka Eestis linnades kasutusel – poorse asfaldi ja hüdraulilise sideaine seos, mis on Confalt või Densifalt tootenime all levinud.

1.2. Elastsete katendite dimensioneerimise alused

Elastseid katendeid dimensioneeritakse üldjuhul vastavuses koormusele. Erinevad sõidukid taandatakse võrreldavateks normtelgedeks (Eestis 10-tonnine paarisratastega telg rehvirõhuga 0,6 MPa). Katendi dimensioneerimisel on põhiliseks teguriks väsimuskoormus, mille arvestamiseks hinnatakse katendi eluea jooksul teed läbivat koormust normtelgedes. Liikluskoormuse taandamisel normtelgedeks kasutatakse tüüpsõidukite kataloogi alusel määratud siirdetegureid. Üldjuhul on siirdetegurite määramisel aluseks reaalse kaalupunkti andmed, kuid tehnoloogia arenedes on täna võimalik loendusandmete otsene töötlus viisil, mis annab tegelikult fikseeritud teljekoormuste alusel otseselt teelõigu koormuse normtelgedes (kahjuks veel mitte Eestis). Siirdetegurite leidmisel on enamlevinud neljanda astme reegli kasutamine – normteljest erineva teljekoormuse mõju asfaltkatele kirjeldatakse fikseeritud teljekoormuse ja normtelje koormuse suhtarvu neljanda astmega (sõltuvalt materjalidest võib astendaja siiski erineda mõlemale poole, Eestis kehtivas süsteemis on astendajaks 4,4 [2] (mitmel pool kasutatakse otsest astendajat 4, kuid näiteks kruusateedel on astendaja väärtus väiksem). Detailsemas arvutuses (kasutatakse ülekaaluliste eriveoste mõju arvestamisel) hinnatakse ka naabertelgede ja sama telje teiste rataste poolt põhjustatavat koormust). Kui Nõukogude Liidu normides BCH 46-83 [3] ja selle baasil koostatud Eesti juhendis 2001-52 [4] on aluseks 15-nda aasta keskmine koormussagedus enamkoormatud sõidurajal, siis mujal on valdavalt mindud katendi eluea jooksul esineva summaarse koormuse alusele (miljonit normtelge).

Eesti ja teised riigid

Seost katendi koormuse ja vajaliku kandevõime vahel on kirjeldatud logaritmilisena, seda nii Eestis kehtivas kui ka SRÜ (Vene Föderatsioon, Valgevene jne) reeglites – erisused on valemi kujus ja kordajates. Dimensioneerimisel on lisaks külmakerke kontrollarvutustele arvesse võetud kandevõime (elastne deformatsioon), tõmbepinged asfaldi alakihis ning nihkepinged drenkikihis ja aluspinnases. Uuemate juhiste erisuseks on oluliselt suurendatud varutegurid mis toovad kaasa samade lähteandmete juures paksemad ja tugevamad katendid. Lisaks on Vene/Valgevene uuemates juhendites (SNIIP [5]; TKP[7]; ODN[6]) sisse toodud lisaks 10-tonnisele normteljele 11,5 tonnine kohustuslikuna kõigile püsikatenditele ja 13-tonnise normtelg rahvusvahelistel trassidel kasutamiseks (igale normteljele vastavad omad siirdetegurid ning erinevad tegurid logaritmvaletamis).

Soomes on tegemist kahetise lahendusega – linnatänavatel on mindud tüüpkonstruktsioonidele tuginedes liiklussagedusele ja aluspinnase liigile [1]; maanteedel valitakse liiklusest või koormusest tulenevalt koormusklass mis määrab nõutud kandevõime, kuid konkreetne konstruktsioon dimensioneeritakse Odemarki valemi abil eraldi [8]. Dimensioneerimine toimub nii koormusele katendi üldelastsusmooduli järgi kui külmakerkele, kusjuures arvestuslik külmumispiir on saarestikus 140 cm, mandril alates 160 cm-st.

Rootsis on kasutusel nii tüüpkatendid kui tarkvaralahendus PMS Objekt. Rootsi eripäraks on väga detailne kliimaatiliste tingimuste eripära arvestamine. Taanis on analoogiliselt kasutusel nii tüüpkatendid kui tarkvaralahendus MMOPP2013 (kliimamoodul tugineb Lõuna-Rootsi andmetel). Mõlemal juhul on soovitatud tüüpkatendeid kasutada vaid madalama koormusega teedel.

Nii Saksa kui Leedu on läinud tüüpkonstruktsioonidele (Leedu algselt kopeeris Saksa norme, kuid et ehitusmaksumused kujunesid väga suureks, kahandati tüüpkatendite konstruktsioone oluliselt – seda ilma inseneriarvutusteta). Ühiseks jooneks fikseeritud kandevõimenõuded muldkehale (E_{v2} 45 MPa) ja alusele (120 MPa). Läti üritab kohendada BCH 46-83 [3] alust uuemale 2001 versioonile (ODN [6], MODN [9]) pöörates rohkem tähelepanu pinnaste ja materjalide omaduste tegelikkuselevastavusele, projekteerimisel kasutatavat tarkvara seni ei reguleerita (tellijapoolsed kontrollarvutused tehakse siiski BCH-põhise tarkvaraga).

1.3. Tüüpkatendid meil ja mujal

Linnatänavatele on ENSV ajal koostatud tüüpkatendid, kuid tollaseid täna aluseks võtta ei saa nii seetõttu, et puuduvad adekvaatsed võrdlused koormuste osas, kui ka pinnaste ja materjalide andmetes. Iseseisvusperioodil on püütud Tallinnale leida tüüpkatendeid (Vaimel), kuid neid töid ei ole lõpule viidud ja rakendatud.

Tüüpkatendite kasutamise kogemus on kõige suurem Saksamaal, aga ka Soomes ja Taanis. Paraku on erinevate riikide süsteeme suhteliselt raske võrrelda seetõttu, et isegi koormusarvestuse alused erinevad. Eri riikide algoritmides võetakse aluseks erinevad rehvisurved (kuigi arusaam 10-tonnisest topeltratastega teljest on ühine) ning siirdetegurite väärtused omavad pigem kogemuslikku iseloomu kui matemaatilist alust.

Iga riigi süsteem tugineb ka oma geoloogilisel aluspõhjal (aluspinnaste valik) ning enamlevinud ehitusmaterjalidel. Kui Eesti aluspõhi on lähedane Taaniga, siis Soome, Rootsi ja Norra oma maapinnalähedase tardkivimist aluspõhjaga on raskesti võrreldav meie tingimustega (kuigi, kõigil neil on ka omad savised ja soised alad). Ning vastavalt, ei õnnestu leida paekivikillustikuga võrreldavat teedehitusmaterjali Skandinaaviast. Kliimaatiliste tingimuste osas võib leida häid võrdlusi Rootsist-Soomest, kuid mitte Taanist (meist oluliselt soojem kliima).

Lisaks on paljudel juhtudel tegelikud koormused erinevad arvestuslikest, sõltudes pigem poliitilistest otsustest kui inseneriarvutustest ja kasutatavad konstruktsioonid eelarvelistest võimalustest – seda mitte ainult Eestis.

Soome

Soome tüüpkatendite süsteem on meile kõige lähedasem nii kliimaatilisest aspektist kui ka oma lihtsusest.

InfraRYL 2010 lisas T1 on toodud aluspinnase klassifikatsioon gruppideks A...G alljärgnevalt:

- A – kaljupinnas, purustatud kalju ja killustik ning kivid – 300 MN/m^2
- B – kruus – 200 MN/m^2 (võimalik sõelkõvera alusel 150...280)
- C – külmakindel kruusmoreen või jämeliiv – 100 MN/m^2 (võimalik 70...150)
- D – külmakindel kesk- või peenliiv ehk liivmoreen – 50 MN/m^2 (võimalik 35...70)
- E – külmakartlik kesk- või peenliiv ehk liivmoreen, kuiv savi – 20 MN/m^2 (võimalik 15...35)

- F – möll, möllmoreen, sitke savi – 10 MN/m² (võimalik 5...15)
- G – pehme savi – 5 MN/m²

Kui muldkeha paksus on vähemalt 1 meeter valitakse aluspinnaseks muldkeha materjal, õhema muldkeha puhul arvutatakse kogu konstruktsioon (Eesti reeglite alusel on sarnaseks piirmääraks 75 cm). D...F gruppide puhul valitakse näitajad ühe grupi võrra madalama tugevusega grupi alusel juhul, kui materjal jääb pinnasevee tasemest allapoole ehk materjal on konstruktsioonis märg.

Soome pinnasenäitajate vastavus Eesti liigitusega – kaljupinnase osas on kindlalt erisused paekivi ja graniidi vahel, samuti ei pruugi kruusad olla üheselt võrreldavad, ülejäänud osas on tõenäoliselt võrreldavus hea. Külmakartlikkuse üle otsustatakse Soomes sõelkõvera järgi – sama kõver esineb ka Eesti teede projekteerimismõõdetes [2] P 3.2 (6).

InfraRYL [1] lisas 01 on toodud tänava kandevõime (katendi pinna elastsusmooduli) nõutavad väärtused tänavate klasside lõikes. Lisas T2 on kirjeldatud tänavate klassid, kokkuvõtlikult on kirjeldus esitatud järgnevas tabelis:

Tabel 1. Kandevõimendused ja linnatänavate liigitus (InfraRYL alusel)

Klass	Kandevõime	Kirjeldus	Liikluskoormus
1	500 MN/m ²	Eriti raske liiklusega peatänav (2+2)	>30 000 AKÖL
2	420 MN/m ²	Raske liiklusega peatänav (2+2)	10...30 000 AKÖL
3	350 MN/m ²	Peatänav, kogujatänav või tiheda liiklusega korrusmajade piirkonna elutänav	2 500...10 000 AKÖL
4	250 MN/m ²	Elutänav või eramute piirkonna kogujatee, raskesõidukite parklad	500...2 500 AKÖL
5	200 MN/m ²	Eramute piirkonna elutänav, teenindusteed, sõiduautode parklad	10...500 AKÖL
6	175 MN/m ²	Jalgteed, jalgrattateed, pargiteed (puudub autoliiklus)	

Kandevõime väärtused on saadud Odemarki analüütilise dimensioneerimise meetodil alljärgnevaid teedehitusmaterjalide elastsusmooduleid kasutades:

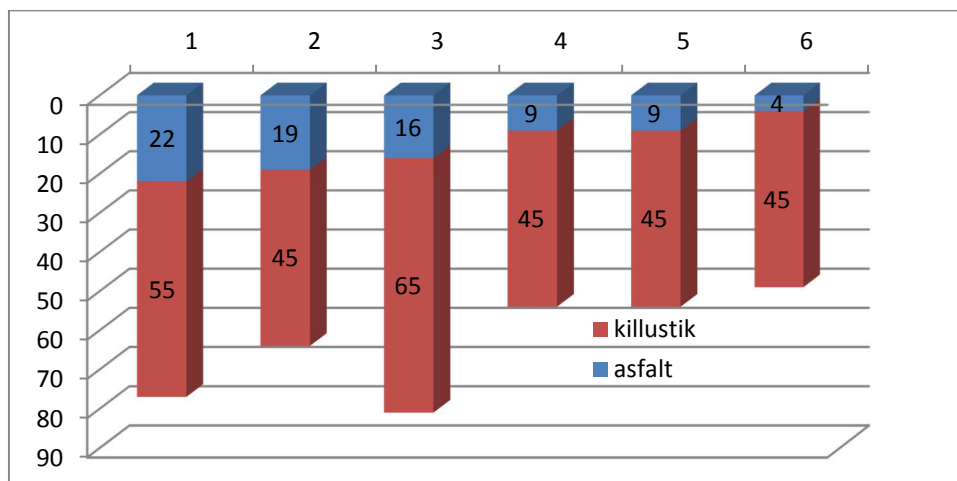
- liiv – 70 MN/m²
- jagava kihi kruus (või killustik) – 200 MN/m²

- kandevkihi killustik – 280 MN/m²
- bituumeniga seotud kihid – 2500 MN/m²

Kui normaalkonstruksioone tehakse paksemaks külmakerkekindluse tagamiseks (aluspinnased E...G), toimub see tugikihtide suurendamise teel (võimalik liivakiht kruusa all) vastavalt külmakerkearvutusele.

Odemarki meetodit on detailselt kirjeldatud juhendi "Tierakennen suunnittelu"¹, peatükis 3.24. Normtelje arvestuse aluseks on 10-tonnine paariratastega telg, rehvisurve 700 kPa (parameetrid ei ole muudetavad). InfraRYL 2010 lisades 02...07 on toodud konkreetset tüüpkatendid eeltoodud tänavaklassidele, igas klassis variandina kõigile aluspinnase liikidele. Lisaks on tabelites ära toodud arvutatud kandevõime väärtused igale kihile (jagav, kandev, kulumiskihi all ja katendil). Nii Soome Maanteeamet kui Loadman mõõteseadme tootja (AL Engineering) kinnitavad, et tabelis toodud väärtused on kontrollitavad Loadman seadmega. Samas on viimasel ajal viidatud nii asjaolule, et praktikas tabelis toodud väärtusi ehituse ajal sellisena ei kontrollita kui ka avaldatud kahtlust mõõtemetoodika adekvaatsuses ehitustööde kvaliteedihindamisel (eriti katendi ülakihtide suhtes, suuremate E väärtuste korral on kerge seadme põhjustatud deformatsioon väike, mis viib arvutustulemuse võimaliku vea suureks).

Graafik 1. Soome tüüpkatendid D-grupi aluspinnasele (50 MPa) – asfaldi ja killustikukihi paksused



¹ <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf> [8]

Tabel 2. Tüüpkatendite kihipaksused erinevatel aluspinnastel (InfraRYL)

Klass	Kiht	A (300) ²	B (200)	C (100)	D (50)	E (20)	F (10)	G (5)
1	AB ³	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	AB ⁴	0,12	0,12	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	Kandev ⁵	0,15	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi ⁶				0,40	0,60	0,80	1,05
2	AB	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	AB	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Kandev	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi				0,30	0,55	0,75	0,95
3	AB	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	AB	0,05	0,05	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15
	Kandev	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi			0,30	0,50	0,75	0,95	0,95
4	AB	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	AB			0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Kandev	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi				0,30	0,55	0,85	1,00
5	AB	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	AB			0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Kandev	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi				0,30	0,40	0,65	0,80
6	AB	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Kandev	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Tugi				0,30	0,60	0,80	1,00

Vaatamata küsitavustele kandevõime mõõtmise osas, ei ole kaheldud pakutud konstruktsioonide otstarbekuses ja vastupidavuses.

² Pinnase liik ja pinnase elastsusmoodul MN/m²

³ AB – kulumiskihi asfalt

⁴ AB – kandevkihi asfalt

⁵ Kandev – optimaalse terastikulise koostisega tardkivikillustik

⁶ Tugi – madalamate nõuetega tardkivikillustik (purustatud kaljupinnas) või kruus, eespool kirjeldatud jagava kihina

Katendi arvestuslik eluiga on 20 aastat. Kuigi InfraRYL raames ei ole esitatud tüüpkatendite ressursi hinnangut normtelgedes, on see võimalik tuletada analoogilise liikluskormusega maanteekatendite reglemendist.

Maanteenormides [8] kasutatakse koormusklasse (KKL) ja nõuded esitatakse katendi kandevõimele ning asfaldi kihtide kogupaksusele, samuti sidumata aluse kandevõimele. Üldistatud siirdeteguritena on alates 2004 aastast kasutusel autorongidele 2,9 ja teistele raskesõidukitele 0,8. Olukorras, kus raskeliiklust ei ole üldse eristatud, kasutatakse siirdeteguriks 2,2. Erinevalt teistest riikidest arvestatakse katendi dimensioneerimisel ka muldkeha laiust – täpsemalt, suurendatakse arvestuslikku koormust kuni 2,8 korda juhul, kui sõiduraja laius koos peenraga on alla 5 meetri.

Koormusklassid (miljonites normtelgedes) vastavad 10-nda aasta liiklussagedusele ja 20 aastasele katendi tööeale.

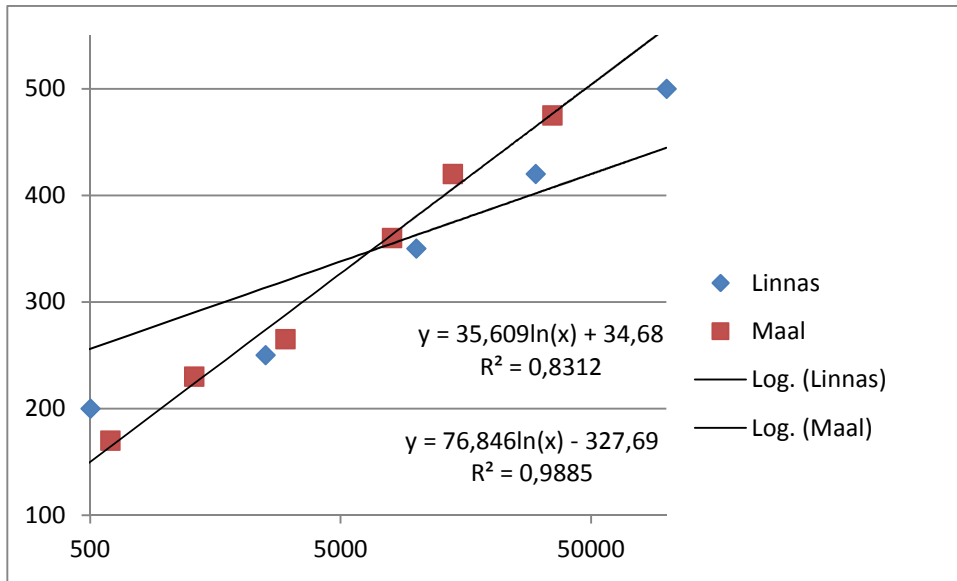
Tabel 3. Soome maanteenormide nõuded teekatendile

KKL (mil.telge)	0,1	0,4	0,8	0,8T ⁷	2,0	2T	6,0	6T	10,0	10T	25,0	25T
AKÖL 10 (1+1 / 2+2)	<150	150- 600	600-1300		1300- 3000		3000- 8000		8000-14000 / 12000- 20000		>14000 / >20000	
Kandevõime MPa	170	170	230	390	265	420	360	465	420	490	475	520
Asfaldi min paksus mm	40	40	80	80	90	80	140	110	170	130	200	130
Aluse kandevõime MPa	145	145	145	280	160	310	160	285	160	265	160	265

Püüdes üldistada Soome normide kohaselt vajaliku kandevõime nõudeid (liiklussageduse väärtused ei ole samased – vahepealsed väärtused on loogiliselt interpoleeritud), saame ligikaudse graafiku:

⁷ Lisandiga T on tähistatud katenditüüp tsementstabiliseeritud alusel, kõigil teistel juhtudel on tegemist tavalise killustikalusega.

Graafik 2. Tee kandevõime nõuded linnas ja maal (MPa - AKÖL)



Graafikust nähtub, et hea seos liiklussageduse ja nõutud kandevõime vahel esineb maanteedel (ruuthälve 0,99), linnatänaval on seos oluliselt nõrgem (ruuthälve 0,83). Püüdes võrrelda graafikul toodud seoseid Eesti katendijuhendi alusega (kuigi aluseks on Eestis koormussagedus, mitte liiklussagedus) on analoogilistel koormustel maksimaalselt võimalikud nõutud kandevõime väärtused suurusjärgus kuni 330 MPa, kusjuures graafiku alumine osa on üsna lähedane Soome graafikule. Ilmselt on põhjuseks suurema liikluskoormusega kaasnevad asjaolud, mida ei ole suudetud arvesse võtta matemaatilises mudelis (enamkoormatud teede raskeliikluse eripära). Sarnaselt jääb BCH 46-83 põhise graafiku võrdluses nii Soome kui teiste riikidega mulje, et BCH koostajatel puudus praktiline kogemus suurematest koormustest mistõttu ei osatud ette näha katendi käitumist koormustel üle 5000 auto ööpäevas.

Liiklussageduse ja koormussageduse seosena on ilmselt kasutuses üldistused ning Soome maanteenormide puhul kujuneb keskmiseks üleminekuteguriks 0,093 (varieerub erinevates klassides 0,084 kuni 0,103)– see peaks arvestama korraga mitut tegurit (madalama klassi teedel on raskeliikluse osakaal üldiselt madalam kuid samas rajategur suurem ehk tee kitsam). Samas, kui jätta muutmata klassi tähistused (miljonid normteljed) ja varieerida veidi sellele koormusele vastava liiklussagedusega, kujuneb liiklussagedustel kuni 3000 AKÖL keskmiseks üleminekuteguriks 0,091 ja üle selle 0,097. Lisaks tuleb arvestada, et sagedustel üle 14500 AKÖL on ka Eesti normide järgi ette nähtud 2+2 ristlõige millega kaasneb madalam rajategur. Võrreldes algse tabeliga on korrigeeritud KKL 0,8 piiri (1200 autot algse 1300 asemel) ning

KKL 6,0 piiri (9000 autot algse 8000 asemel). Kaks viimast (KKL10 ja KKL25) on antud 2+2 ristlõikele. Juhul, kui tegemist on 1+1 ristlõikega, kujuneb AKÖL 10 piirideks vastavalt 15,000 ja 37,500 autot. Seega, võib Soome juhise põhjal teisendada 1+1 ristlõikega teedel AKÖL 10 arvestuslikuks summaarseks koormuseks (normtelgedes 20 aasta jooksul) korrutades liiklussagedust konstandiga 667 ning 2+2 ristlõikega teedel konstandiga 500. Selle järgi on koormusklassi piiriks liiklussagedus 50,000 autot ööpäevas (AKÖL 10) millest suurema sageduse korral on normikohase läbilaskevõime tagamiseks vajalik vähemalt 3+3 ristlõige.

Tabel 4. Liiklussageduse (AKÖL 10) ja summaarse koormuse (KKL, miljonit telge) seos

KKL	0,1	0,4	0,8	2,0	6,0	10,0	25,0
AKÖL 10 (korrigeeritud)	150	600	1200	3000	9000	20000	50000
KKL (normtelg)	100000	400000	800000	2000000	6000000	10000000	25000000
siirdetegur	0,0913	0,0913	0,0913	0,0913	0,0913	0,0684	0,0684
üleminekutegur	667	667	667	667	667	500	500

Kasutades tabelis toodud üleminekutegureid linnatänavate koormusklasside määramiseks, saame:

Tabel 5. Linnatänavate koormusklasside määranng (KKL)

AKÖL +10	<10	10-500	500-2500	2500-10000	10000-30000	30000-50000
Koormusklassi maksimaalne koormus (mil.normtelge 20a)	0,01	0,33	1,67	6,67	1+1: 20 2+2: 15	1+1: 33 2+2: 25

Ülaltoodud tabel pole päris korrektne seetõttu, et ei võta arvesse linnatänavate erisusi – madalamast kiirusest ja kitsendatud sõiduradadest tulenevat, mida võetakse arvesse näiteks Taani süsteemis. Samas on Soomes leitud, et detailsemalt koormussageduse uurimine projekteerimisfaasis ei ole mõistlik kuna tulemus sõltub sellest suhteliselt vähe. Linnatänavate projekteerimisel on koormusuuringutest otseselt loobutud, piirdudes ainult liiklussagedustega.

Saksamaa

Saksamaal kasutatakse tüüpkatendeid nii linnatänavatel kui maanteedel. Juhendi RStO12 [10] jagatakse teed liikluskoormuse alusel 7 koormusklassi (Bk0,3 kuni Bk100), kus number vastab tee eluea (30 aastat) jooksul läbivale normtelgede arvule (miljonit normtelge). Koormusel üle

100 miljoni normtelje tuleb katend arvutuslikult dimensioneerida. Linnatänavad jagunevad 12 klassi ning igale neist on määratud võimalik diapason koormusklassidest.

Tabel 6. Saksa tänavate liigitus ja vastavad koormusklassid

Tüüpsituatsioon		Tänavakategooria	Koormusklass
Anbaufreie Straße	hoonestamata	VS II, VS III	Bk10...Bk100
Verbindungsstraße	ühendustee	HS III, HS IV	Bk3,2 / Bk10
Industriestraße	veotänav (tööstusala)	HS IV, ES IV, ES V	Bk3,2...Bk100
Gewerbestraße	äritänav	HS IV, ES IV, ES V	Bk1,8...Bk100
Hauptgeschäftstraße	peatänav	HS IV, ES IV	Bk1,8...Bk10
Ortliche Geschäftstraße	peamine äritänav	HS IV, ES IV	Bk1,8...Bk10
Ortliche Einfahrtstraße	peamine juurdepääs maanteelt	HS IV, ES IV	Bk3,2/Bk10
Dörfliche Hauptstraße	küla peatänav	HS IV, ES IV	Bk1,0...Bk3,2
Quartierstraße	korruselamute tänav	HS IV, ES IV	Bk1,0...Bk3,2
Sammelstraße	kogujatee, tänav	ES IV	Bk1,0...Bk3,2
Wohnstraße	elutänav (õueala)	ES V	Bk0,3 / Bk1,0
Wohnweg	kitsas tupiktee	ES V	Bk0,3

Lisaks võrdsustatakse kõrgema koormusklassiga ühistranspordiga tänavad vastavalt busside arvuga ööpäevas:

- üle 1400 bussi – Bk100
- 425...1400 bussi – Bk32
- 130...425 bussi – Bk10
- 65...130 bussi – Bk3,2
- 15...65 bussi – Bk1,8

Koormussagedus arvutatakse valemiga $B = N \cdot DTA^{(SV)} \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot F_Z \cdot 365$, kus

- N on katendi arvutuslik eluiga;
- $DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A$ on taandatud normtelgede arv kusjuures

- o $DTV^{(SV)}$ on raskeliikluse ööpäevane sagedus (sõidukid täismassiga üle 3,5 tonni) ja
- o f_A keskmine telgede arvu tegur (*achszahlfaktor*)
 - kiirteedel, suure raskeliikluse osaga (<6%) teistel teedel $f_A=4,5$; $q_{Bm}=0,33$;
 - põhimaanteedel, keskmise raskeliiklusega (3...6%) teedel $f_A=4,0$; $q_{Bm}=0,25$;
 - kohalikel teedel (raskeliiklus <3%) $f_A=3,3$; $q_{Bm}=0,23$);
- q_{Bm} veomahu kasutustegur (*lastkollektivquotient*); f_1 rajategur ja f_2 raja laiuse tegur; f_3 tee pikikalde tegur ja $f_z=((1+p)^N-1)/(p*N)$ kus p on igaaastane raskeliikluse kasvutegur

Katendi konstruktsioonis on aluse paksus sõltuvuses nii aluspinnase tüübist (F1 külmakindel, F2 külmakartlik ja F3 külmakerkeohtlik), kliimatsoonist (külmumissügavust arvestatakse 120 kuni 150 cm⁸ vastavalt tsoneerimiskaardile) ning parandusteguritest. F2 puhul on külmakaitsekihi paksus 40...55 cm, F3 puhul 50...65 cm sõltuvalt tee koormusklassist.

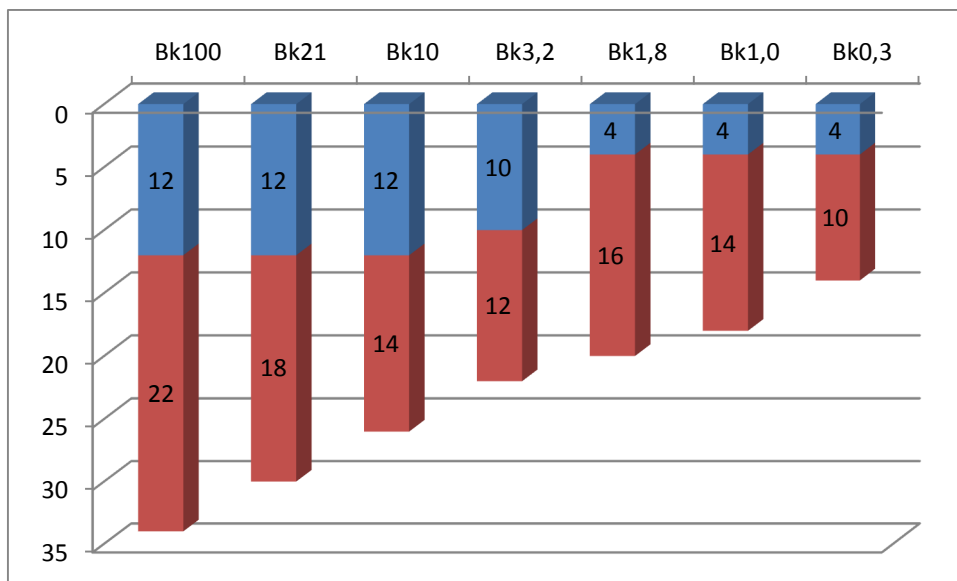
Saksa tüüpkatendite asfaltkatte paksused tavapärase killustikaluse korral (F2 ja F3 aluspinnasel) on alljärgnevad:

Tabel 7. Saksa koormusklassid ja vastavad asfalt- ning betoonkatte paksused

Liik		Bk100	Bk32	Bk10	Bk3,2	Bk1,8	Bk1,0	Bk0,3
	Koormus (milj.normtelge)	32-100	10-32	3,2-10	1,8-3,2	1-1,8	0,3-1	<0,3
Asfalt	kate	12	12	12	10	4	4	4
	alus	22	18	14	12	16	14	10
Betoon	plaat TS kandevkihil	27	26	25	24	23	-	-

⁸ Eestis on analoogiliseks väärtuseks loetud 125 cm, kuid uurimistööd näitavad, et näitaja varieerub suuresti, rannikul ja saartel 100 cm ja Kesk-Eestis 200 cm vahel, Eesti keskmisena võiks kasutada orienteeruvalt 160 cm mis vastab ka Lõuna-Soome näitajale (saarestikus 140 cm). Tallinna kontekstis võib kehtiv 125 cm olla adekvaatne.

Graafik 3. Asfaltkatte paksus erinevates koormusklassides Saksa normi järgi



Erandina võib Bk0,3 klassis, kui koormus ei ületa 100,000 normtelge, kasutada stabiliseeritud katendikonstruktsiooni (8 cm) pinnatud kaitsekihiga. Muldkeha pinnal eeldatakse $E_{v2}=45$ MPa ning sidumata aluse pinnal (asfaldi all) 120 MPa (plaatkoormus), erandina Bk0,3 koormusklassis 100 MPa.

Saksa süsteemis nõutavad väärtused on saadud plaatkoormuskatsega ning need ei ole üheselt teisendatavad meil enamkasutatud Inspector-seadme mõõtetulemustele. Samas on kvaliteedikontrolliks väga vajalik kasutada adekvaatseid kontrollitavaid väärtusi, mistõttu tuleb põhjalikumalt uurida seoseid plaatkoormuskatse, Inspector-seadme ja alternatiivsete seadmete (Dynatest, HMP jt) näitude vahel erinevatel pinnastel ja materjalidel, erineva niiskussisalduse juures.

Saksa kompetentsikeskus – www.fgsv.de – Forschungsgesellschaft für strassen- und verkehrswesen ühendab teede ja liikluse spetsialistid ja teostab uuringuid ning annab nõu riigi institutsioonidele valdkonna temaatikas.

Taani

Taani katendid on dimensioneeritud 10-tonnise normtelje (paarisrattad, dünaamiline koormus +20%; 0,7 MPa kontaktsurve) läbikute alusel. Kliimaatiliste tingimuste osas on aluseks võetud Rootsi lõunapiirkonna (Skåne) parameetrid ja aasta on jagatud 7 kliimaatiliseks perioodiks. Igal neist on fikseeritud kestvus ja keskmine temperatuur ning kordaja materjali elastsusmooduli arvestuses (neljas materjaliklassis). Külmaskindlusarvutused tuginevad Tranebjergi ilmajaama

andmetel (1873-2003). Asfaldikihtide temperatuuriparandustes arvestatakse kolmeastmelise lineaarse seosega (alla +16°C muutub elastsusmoodul aeglaselt, 16..21°C keskmiselt ja üle 21°C kiiresti temperatuuri muutusel). Jääddeformatsioonide arvestus on samuti kolmeefaasiline – alguses ilmselt koormuse all täiendaval tihenemisel kiire, siis katte tööperioodil suhteliselt aeglane ning lagunemisfaasis uuesti kiire. Süsteemi teoreetilised alused tuginevad Per Ullidtz'i teadustöödel ning praktilistel kogemustel Dynatesti kontsernis.

Taani teed jaotatakse koormusklassidesse T0...T7:

Tabel 8. Taani teede koormusklassid

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
RS ⁹ /24h	-	<1	<75	75..150	15..600	600..1400	1400..2000	>2000
N ¹⁰ /24h (max)	-	0,5	20	50	200	500	800	1500
N/aasta	-	75	7.300	18.300	73.000	180.000	300.000	500.000

T0 (kergliiklustee) koormuseks on hooldustehnika; T7 koormus pole põhimõtteliselt piiratud. Raskesõidukiks loetakse üle 3,5-tonnise täismassiga sõiduk; raskesõidukite arvestuses loetakse mõlemad sõidusuunad kokku.

Normtelgede arv (N) leitakse valemiga:

$N = P \cdot K_F \cdot K_K \cdot K_R \cdot F_{SS} \cdot (F \cdot L)$, kus:

- P – kasvutegur mis arvestab ka katendi eeldatavat eluiga $P = ((1+a)^n - 1)/a$ kus a on iga-aastane kasv ja n katendi eluiga – valemil on ka kuju $P = n \cdot (1 + (n-1) \cdot a/2)$
- K_F on rajategur (nagu ka Eestis; 0,45 – 0,55 – 1,0)
- K_K arvestab kanaliseeritust (äärekividega kanaliseeritud lõigul 2,0; kitsendatud ristlõikel 1,5; normaallaiusega 3,75 m sõidurajal 1,0)
- K_R ringristmiku parandustegur (üherajalisel ringil 2,0; muudel juhtudel 1,0)
- F_{SS} super-single rehvide kasutust arvestav tegur (kiirteedel 1,8; teistel riigiteedel 1,6 ja kohalikel teedel 1,2...1,5)
- F on sõiduki siirdetegur, mida võib arvestada kas sõiduki pikkuse või keretüübi alusel

⁹ RS – raskesõiduk – üle 3,5 tonnise täismassiga sõiduk

¹⁰ N – normtelgede arv ajaühikus (enamkoormatud sõidurajal)

- o 5,8-12,5 m pikkus standard 0,3 ja linnas 0,25; üle 12,5 m pikkus std 1,25 ja linnas 0,7
- o üle 5,8 m pikkus standard 0,8 ja linnas 0,3
- o sooloveok 0,25 ja linnas 0,15; poolhaagis 1,35 ehk 0,8; täishaagis 1,15 ja 0,55 ning buss 0,55 ja 0,4
- $L = AKÖL * 365 * (RS/100) * 0,86$ kus RS on raskeliikluse protsent ning 0,86 arvestab et raskeliiklus on loendatud tööpäeval 06-18 vahemikus (öö ja puhkepäevad ei ole arvestatud)

Katendi projekteerimisel on kolm taset – esimene, kataloogimeetod (ainult koormusklassidele T0-T5); teine, analüütilis-empiiriline dimensioneerimine (MMOPP2013) ja kolmas simulatsioonimeetod (samuti MMOPP2013). Simulatsioonimeetodi kasutamisel modelleeritakse katendi tasasusnäitaja (IRI) areng katendi tööea jooksul.

MMOPP2013 võtab lisaks eeltoodule arvesse ka sõidukite liikluskiiruse läbi asfaldi elastsusmooduli kahandamise (kiirusel 60+ on parandustegur 1,0; 30 km/h – 0,8; 10 km/h – 0,5; 5 km/h – 0,4 ja 2,5 km/h – 0,3).

MMOPP2013 võimaldab arvutada ka tänavakivikatendit, poolelastset (Confalt/Densifalt) ja betoonkatendit. Kliimamoodul on võimalik korrigeerida vastavuses meie tingimustega, kuid naastrehvide kasutust ei arvestata. Ehitusmaterjalide osas on valik lai, kuid puuduvad meil kasutatavad paekillustikud ja stabiliseeritud materjalid. Aluspinnaste osas kolm varianti, külma kindel (liiv, kruus – 100 MPa), külma kartlik (moreenid või stabiliseeritud aluspinnased – 40 MPa) ja külma ohtlik (20 MPa).

MMOPP annab kasutajale võimaluse valida koormusandmete (koormusklassi) ja aluspinnase valiku järel kulumiskihi tüübi ja paksuse ning järgmiste kihtide tüübid – paksused määrab programm. Lisaks on võimalik fikseerida katendi eeldatav tööiga (summaarse koormuse arvutamiseks) ning sõidukiirus, mille alusel korrigeeritakse asfaltbetooni elastsusmoodulit. Programm juhhib kasutaja tähelepanu kihipaksustele, mis võivad olla tehnoloogiliselt mitesobivad – lähteandmete korrigeerimise järel saab teha uue iteratsiooni.

Tüüpkatendid 10-aastasele koormusele külma kartlikul alusel (40 MPa) on antud alljärgnevas tabelis:

Tabel 9. Taani tüüpkatendid

Funktsioon	materjal	T0	T1	T2	T3	T4	T5
kulumiskiht	AB ¹¹ 70/100 ¹² PA ¹³ 250/330	30 mm	20 mm	20 mm	25 mm	25 mm	30 mm
vahekiht ja kandevkiht	ABB ¹⁴ 40/60 GAB 0 70/100 GAB 1 70/100 GAB ¹⁵ 1 40/60		50 mm	80 mm	60 mm 60 mm	60 mm 90 mm	60 mm 65 mm
alus	SG ¹⁶	120 mm	150 mm	150 mm	150 mm	170 mm	215 mm
külmakaitsekiht	BL ¹⁷	150 mm	180 mm	250 mm	305 mm	355 mm	350 mm

Iseloomulik on madalamate koormuste korral vedelamate bituumenite kasutamine ülakihis ning väga õhukesed ülakihid. Samuti on asfaldi terasuurus väike – üldjuhul 8 või 11 mm, sest haardeteguri probleeme esineb vähe (oluliselt soojem kliima).

Kompetentsikeskus – Taani Maanteeameti juures püsivalt töötav ekspertgrupp, milles osalevad Maanteeameti, kohalike omavalitsuste, projekteerimis- ja ehitusfirmade ning kõrgkoolide esindajad.

1.4. Täiendavad aspektid katendite projekteerimisel

Katendi jäävdeformatsioonid on põhjustatud kolmest tegurist:

- **kulumine** - valdavalt tulenevalt naastrehvidest; võib välja tuua kulumiskiiruse seoseid liiklussageduse, naastrehvide kasutuse osakaalu ning liikluskiirusega. Soome uuringud näitavad, et erinevalt senisest arusaamast (kulumine kasvab kiirusega, seos kirjeldatav astmefunktsiooniga) on naastrehvide kulumisel miinimum ning kiiruse kahanedes kulumine tõuseb taas. Põhjusena tuuakse mõju erinevat iseloomu, kui suurel kiirusel on

¹¹ AB - asfaltbetoon

¹² Asfaltbetoonis kasutatava bituumeni penetratsioon

¹³ PA – pehme asfaltbetoon

¹⁴ ABB – sidekihi asfaltbetoon

¹⁵ GAB – kruusasfaltbetoon; number tüübi ja bituumeni margi vahel viitab kivimaterjali kvaliteediomadustele

¹⁶ SG – sõelutud kruus

¹⁷ BL – külmakaitsekiht, tavaliselt liivast. Eristatakse lõimiseteguri Cu järgi, vaikumisi Cu<3

mõjuriks naastu löögienergia asfaldi kivimaterjalile siis väiksemal kiirusel naast väänab kivimaterjali terad asfaldi pinnast välja. Naastrehvide omadused on aja jooksul muutunud (piiratakse naastude arvu ja kaalu), seetõttu ei ole aastate eest tehtud katsed ja uuringutulemused automaatselt enam kasutatavad tänases olukorras. Roopasügavuse mõõtmine annab pildi summaarsetest deformatsioonidest, eristamata deformatsiooni põhjust. Samas, mõõtes roopasügavust sügisel ja kevadel, on eristamine lihtsam sest talveperioodil on katendi kandevõime suurem ja valdavaks kulumine.

- **lääbivajumine** on põhjustatud raskeliiklusest, kui konstruktsioonis annavad järgi alakihid. Põhjuseks on tavaliselt projekteerimisvead (liiklussagedus ja koormussagedus ületavad oluliselt projekteerimisel kavandatud koormust; erinev koormuse iseloom mida projekteerimisel ei ole arvestatud – rehvirõhk ja rehvitüüp ning teljekoormused; puudub kulumisvaru), ehitusvead (materjalid ei ole homogeensed, materjali koostis ei vasta nõuetele, ebapiisav tihendamine) või hooldusvead (katendi plaanilist remonti ei ole teostatud, ülakihtide kulumise või purunemise tõttu pääseb niiskuse alakihidesse). Üldjuhul on siiski tegemist aladimensioneeritud katendiga ka juhul, kui projekt vastab kehtivatele nõuetele.
- **voolavus** – põhjustatud ebaõnnestunud asfaltsegu koostisest. Jällegi võib tegemist olla mitme teguri koosmõjuga. Optimaalsest suurema sideaine sisalduse puhul on vaja bituumeni sidumiseks lisada seguresepti peenosist. Tulemusena asfaldi kivimaterjali terad ei haaku omavahel, ei moodusta skeletti. Suurema sideaine ja fillerisisaldusega segu deformatsioonikindlus on seega väiksem, samuti on väiksem jäävpoorsus. Samas on segu paremini töödeldav ja tihendatav. Lisaks mõjutab asfaldi veelavust valitud sideaine liik. Enamlevinud bituumeni 70/100 pehmenemistäpp vastavalt standardile EVS 901-2:2009 on vahemikus 43...51°C kui teekatendi temperatuurid suvel (Maanteeameti mõõtepunktide andmetel) ulatuvad 57°C tasemeni. Seetõttu on ka Venemaal soovitatud eritingimuste puhul (suurem raskesõidukiliiklus, madal kiirus) kasutada asfaldi nihkekindluse tõstmiseks polümeerbituumenit pehmenemistäppiga 60-65°C.

Enamkoormatud alade käsitlemine (ristmikud, ÜT-rajad)

Soome ristmikud

Soome süsteemis on ette nähtud erimeetmed juhul, kui tee kuulub liikluskooormuselt vähemalt KKL 6 kooormusklassi (AKÖL 10 vähemalt 3000) ning teel on peatumiskohustus (foorjuhtimine

ehk esineb stoppjoon) – 100 m enne kuni 60 m pärast stoppjoont; ühissõidukiradadel ja mujal, kus raskeliiklus peatub või liigub aeglaselt. Nendel aladel kasutatakse asfaldinormide kohaselt kõrgeima deformatsiooniklassi asfaltsegu ja lisaks valitakse üks alljärgnevatest meetmetest:

- tavapärasele dimensioneerimisele lisaks ehitatakse vähemalt 80 mm asfaldikiht jäigema bituumeniga (B35/50¹⁸ või B50/70) kusjuures selleks võib kahandada sidumata kandevkihi paksust 80 mm
- kasutatakse rübustabiliseeritud alust 150 mm ja 60 MPa võrra kõrgemat nõutud kandevõime taset
- kasutatakse tsementstabiliseeritud alust vastavuses normidega.

Vene ristmikud

Katend arvutatakse staatilisele koormusele (10 minutit; Eesti kliimatsoonis tuleks arvestada asfaldi omadused 50 kraadi juures) ning kasutatakse SBS-lisandiga bituumenit (pehmenemistäpp mitte alla 60 kraadi).

Eesti ristmikud

15.08.2014 kehtimahakanud teede projekteerimismõnides on analoogiliselt Soome normidega fikseeritud punktis 4.6 (7) ja (8):

Eeldatava koormussagedusega üle 225 normtelge ööpäevas tuleb teelõikude ühissõidukite peatuses, ristmiku ja raudteeülesõidukohas arvestada staatilise koormusega. Staatilise koormuse esinemisalaks loetakse raudteeülesõidul 100 meetrit raudtee telgjoonest ja samatasandilisel ristmikul ristmiku tsentrist kõigis suundades kogu ristlõike ulatuses, kus koormussagedus ületab 225 normtelge ööpäevas ning sõidukite kiirus langeb vähemalt poole võrra.

Staatilise koormuse esinemisalal tuleb:

- 1) projekteerida katte kaks ülemist kihti jäigemad, kasutades selleks näiteks vastavaid lisandeid;
- 2) kandevkihi alla näha ette kandevkihiga identne kiht (aluse ülaosa asendatakse asfaltbetooniga), mille paksust võib tehnoloogilistel kaalutlustel muuta.

¹⁸ bituumeni mark, numbriliselt väljendatuna penetratsioon

Siirdetegurid

Sisuliselt kasutatakse kaht tüüpi siirdetegureid – esimene neist on kasutusel liiklusarvutustes sõidukid taandatakse sõiduautodeks, teised katendiarvutustes – normtelgedeks.

Liiklusarvutustes kasutatakse Eestis 1-2-3 süsteemi (veoautod ja autobussid võrdsed kahe sõiduautoga, autorongid kolmega). Vene uuendatud SNiP-is [5] on sisse toodud põhjalikum jaotus, mille kohaselt 2,0 on tegur 14- ja enama tonnise kandevõimega veokitel, maksimaalseks liikluskoormuseks loetakse liigendbussse ja trolle (tegur 4,6). Hollandis on kasutusel 1-1,7-2,4 skeem analoogiliselt Eestiga.

Normkoormuse määramisel on aluseks siirdetegurid. Eestis kehtivad siirdetegurid on kirjeldatud teede projekteerimismisnormis [2] (Tabel 4.3). Linnatänavate jaoks on TTÜ juhises [11] mõningad erisused, lisatud on trollibussid.

Tabel 10. Eestis kehtivad siirdetegurid (maantee)

VK	VR2	VR3	VR2+2	SR/AR3	SR/AR4	SR/AR5	SR/AR6+	BK	BR2	BR3
0,11	0,8	1,8	2,7	0,85	1,1	2,05	4,8	0,05	0,75	1,7
VA2 = 0,75				AR = 2,0				B2 = 0,72		

- VK – keskmine veoauto
- VR2, 3 – kahe- või kolmeteljeline raskeveok
- VR2+2 – neljeteljeline raskeveok (kaks esimest pööravad)
- SR/AR3, 4, 5, 6+ – sadulrõng või autorõng (vastavalt telgede koguarvule)
- BK – keskmine autobuss
- BR2, 3 – kahe- või kolmeteljeline raske autobuss

Tallinna erisused:

- B2L – kaheteljeliste busside keskmine siirdetegur 1,2
- BL – kolmeteljeline liigendbuss, siirdetegur 1,1
- BH – haagisbuss ehk bussrõng, siirdetegur 0,90
- TR – trollibuss, siirdetegur 0,70
- TL – liigendtroll, siirdetegur 0,70

Et sõidukite siirdetegurite faktilisest määramisest on möödunud aastaid ja muutunud on ka sõidukipark, tuleks tänaste enamlevinud ühissõidukite teljekoormused määrata uuesti, arvestades seejuures ka kasutatavat rehvitüüpi ja rehvirõhku. Võrdluseks on toodud väljavõte Valgevene katendinormidest [7] (siirdetegurid), täielik tabel Lisas. Iseloomulik on autorongide detailne käsitus sõltuvalt konstruktsioonist ja lubatud teliku koormusest. Kõik kolmeteljelise poolhaagisega (tridem-telikuga) sõidukid loetakse raskeimasse gruppi ning autorongide ja ka busside siirdetegurid on ca 2 korda suuremad kui meil.

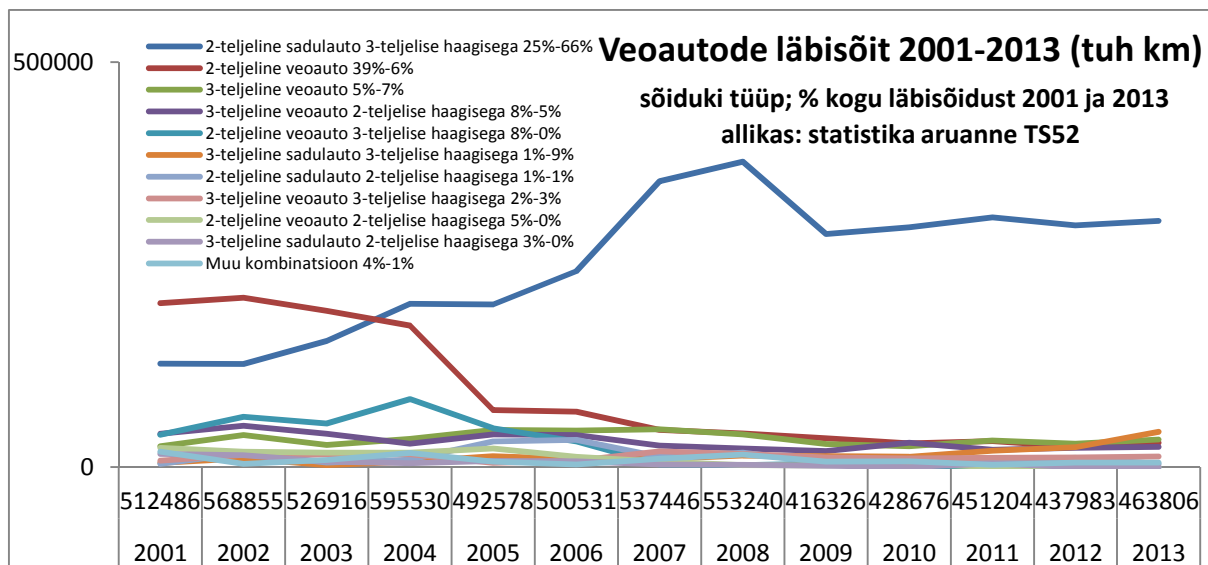
Tabel 11. Valgevene siirdetegurid 10-tonnisele normteljele

SA	VB	VV	VK	VA2	VR2	VR3	AR3/4	AR4/5	AR5	AR5	AR5/6	B2	B3	LB
0,002	0,0037	0,2	0,6	1,0	1,35	3,6	2,5	3,0	4,0	5,5	7,0	1,5	3,76	2,0

Võrreldes siirdetegurite reglementi meil ja mujal on ilmselt, arvestades automaatloenduse võimalustega, mõistlik piirduda vaid sõiduki pikkuse alusele tugineva liigitusega – kuni 6 meetrit, 6-12 meetrit ja üle 12 meetri. Kaalupunktide andmete baasil on otstarbekas uute siirdetegurite väljatöötamine, arvestades tegelikult antud pikkusklassis esineva tegeliku kaalujaotusega. Kui on võimalik eristada ka rehvitüüp (Muuga sadama tee kaalupunktis võimalik), siis saab autorongide siirdeteguri määramisel arvestada ka erinevate rehvitüüpide suhtarvust tuleneva super-single teguriga siirdeteguri koosseisus.

Siirdetegurid muutuvad ajas sedavõrd, kui muutub sõidukite koosseis. Katendiarvutuse mõttes põhilise koormuse annavad veoautod ja autorongid. Statistikaameti kodulehelt on leitav aruanne TS52 mis täna katab ajavahemiku 2001-2013. Andmestu tugineb aruandekohuslike vedajate esitatud infole ja sisaldab Eesti vedajate omanduses oleva autopargi läbisõitu struktureerituna veoki telgede arvu ja liigi alusel. Aruanne sisaldab seega Eesti vedajate läbisõitu väljaspool Eestit ja ei sisalda välismaiste sõidukite läbisõitu Eestis.

Graafik 4. Veoautode struktuuri muutus aastatel 2001-2013



Graafikult nähtub, et antud ajavahemiku jooksul tõusis 3-teljelise poolhaagise kasutus 26%-lt 75%-le ning vastavalt vähenes sooloveokite kasutus 44%-lt 13%-le. Täna Eestis kasutatavad siirdetegurid tuginevad perioodi alguspoolest ja on tegelikult ühe kaalupunkti ühe aasta andmetel tuletatud. Et sõidukite liigiline koosseis muutub pidevalt, tuleks vähemalt viieaastase intervalliga uuendada ka siirdetegurite väärtusi. Seejuures on mõistetav, et tuleviku prognoosimiseks napib teavet.

1.5. Liiklus

Liiklusloendused

Liiklusloendusi viiakse läbi nii projekteerimise eelselt (liiklusuuringu raames et määrata projekteerimiseks vajalikud parameetrid) kui ka hiljem (ühelt poolt selleks, et veenduda projekteerimisel kasutatud parameetrite adekvaatsuses ja seeläbi saada kindlust tee/tänavatõenäolises töövõimes, teiselt poolt et arvestada konstruktsiooni jääkressurssi). Soomes on maanteedel juba pikemat aega kasutusel kumulatiivse ressursi arvestus, seda nii projekteerimise lähteülesandes (miljonid normteljed) kui ka iga-aastaselt jääkressursi arvestamiseks. Seejuures kontrollitakse arvestust ka tee seisundihindamise tulemustega ning võetakse arvesse ka tee eluea jooksul tehtud täiendavad investeeringud.

Projekteerimiseks vajalik loendus võib samuti olla tehtud kahel eesmärgil.

- ristmike läbilaskevõime jaoks vajalikul loendusel - piisab sõiduki pikkuse järgi liigi fikseerimisest sest ristmikuarvutuste jaoks taandatakse liiklus sõiduautodele (SA¹⁹-1, VAAB²⁰-2, AR²¹-3);
- katendi dimensioneerimisel - tuleb vastavalt Maanteeameti juhendile [11] kasutada 11-liigilist klassifikaatorit mis komplitseerib loendusprotsessi ka seetõttu, et puuduvad tehnilised võimalused just sellise klassifikaatori baasil automaatloenduse läbiviimiseks.

Tuginedes ka teiste riikide praktikale, on otstarbekas piirduda nii katendi dimensioneerimise kui läbilaskvusarvutuste jaoks sama klassifikaatoriga. Linnaliikluse loenduses tasub kaaluda ühistranspordi eristamist seetõttu, et linnabusside siirdetegurid on veidi erinevad linnadevahelise liikluse bussidest, aga ka seetõttu et linnabusside liiklussageduse info on suhteliselt täpselt kajastatav ja analüüsitav sõiduplaanide baasil ilma väliuuringuta.

Loenduse läbiviimisel tuleb eelistada automaatloendust. Linnatingimustes on vähe võimalusi voolikloendurite kasutamiseks (kiirused on madalamad ja võib esineda seisakuid mis kahandavad oluliselt tulemuste täpsust sõidukite liigilise jaotuse määramisel). Seetõttu on otstarbekam kasutada mitmesuguseid videoloenduse süsteeme aga ka metallidetektoril või optilisel anduril põhinevaid süsteeme. Erinevate süsteemide ühildamine on raske, kuid hetketeadmiste valguses on otstarbekas piirduda minimaalse jaotusega – kas analoogiliselt Maanteeameti süsteemiga sõiduki pikkuse põhiselt (kuni 6; 6-12 ja üle 12) või lisades sellele ühistranspordi alaliigi. Regulaarselt tuleks läbi viia vaatlusi ja uuringuid ning täpsustada vastavalt valitud alaliigi keskmist koormust ja siirdetegureid. Alustuseks sobib Soome süsteemis valitud siirdetegur 0,8 kuni 12-meetriste raskesõidukite ning 2,9 üle 12-meetriste raskesõidukite jaoks, lugedes kuni 6-meetrised sõiduauto klassi.

Loendades liikluse eraldi Maanteeameti aegridadega analoogilise klassifikaatori alusel sõiduki pikkusklassides, saame tulemuse taandada

- sõiduautodele mis on tee ristlõike (ja ristmiku) läbilaskevõime aluseks ja millest tulenevalt saame valida ka kulumisvaru ulatuse

¹⁹ sõiduauto, pakiauto – pikkus kuni 6 meetrit

²⁰ veoauto, autobuss – pikkus 6...12 meetrit

²¹ autorong, sadulauto poolhaagisega – pikkus üle 12 meetri

- 10-tonnistele normtelgedele (kasutades 6-12 meetriste sõidukite puhul siirdetegurit 0,8 ja pikematel 2,9 vastavuses Soome maanteenormidega), mis on katendi konstruktsiooni valiku aluseks.

Käesoleva töö raames uuriti liiklust seireobjektidel ning kasutati lähima Signaali seireristmiku (10 liiklussõlme linnas ja üks lisapunkt Paldiski maanteel linna piiri lähedal) andmeid loendustulemuste teisendamiseks aastakeskmiseks (loendusaja liikluse võrdlus vaatluspunktis ja Signaali seire ristlõikes ning seireristlõike liikluse võrdlus loendusajal aastakeskmisega). Konkreetsete objektide puhul tuleb valida loendusajad ning aastakeskmise teisenduseks sobivad referentslõigud mille osas on adekvaatne andmestik.

Näide: loendustulemuste alusel tuletati aastakeskmiseks liiklussageduseks (AKÖL) 15200 autot, millest 85% (13005) loeti sõiduautodeks, 10% (1520) kuulusid keskmisse pikkusklassi ja 5% (760) olid pikemad kui 12 meetrit.

- liikluse taandamisel sõiduautodele saame $13005 + 2 \cdot 1520 + 3 \cdot 760 = 18325$
- koormuse taandamisel normtelgedeks saame $Q = 1520 \cdot 0,8 + 760 \cdot 2,9 = 3420$
- liikluskooormuse järgi on vajalik 2+2 ristlõige, järelikult on rajategur 0,45 (1+1 ristlõike puhul rajategur 0,55) ja koormussagedus 1539 normtelge enamkoormatud sõidurajal

Kuna liikluse koosseis ja koormuse iseloom on ajas muutuvad (sõidukipark muutub), siis on otstarbekas siirdetegurite täpsustamiseks regulaarselt viia läbi uuringuid, tuginedes kaalupunktides fikseeritud andmetele ja ka kontrollkaalumistele.

Liiklusprognoos ja kumulatiivne koormussagedus

Vastavalt Soome juhenditele on aluseks 10-nda aasta liiklussagedus. Erinevate kõrgema tasandi prognooside analüüs näitab, et üldiselt on 10 aasta arenguna ennustatud vähemalt 20% liiklussageduse kasvu (20 aasta prognoosid jäävad vahemikku 40-60%). Linnatingimustes on liikluse prognoosimine probleemsem, sest linnaplaneerimise (tõmbekeskuste arendamine) ja liikluskorralduslike (bussirajad, liikluspiirangud) meetmetega saavutatakse selliseid tulemusi, mida tavapärane prognoos ei suuda ette näha.

Eeltoodud näite põhjal, 10-nda aasta koormussageduseks $1,2 \cdot 1539 = 1847$ ja 20 aasta summaarseks koormussageduseks $1847 \cdot 20 \cdot 365,25 = 13,5$ miljonit normtelge.

2. Tallinna andmestu

2.1. Liiklus

2.1.1. Liiklusloendused

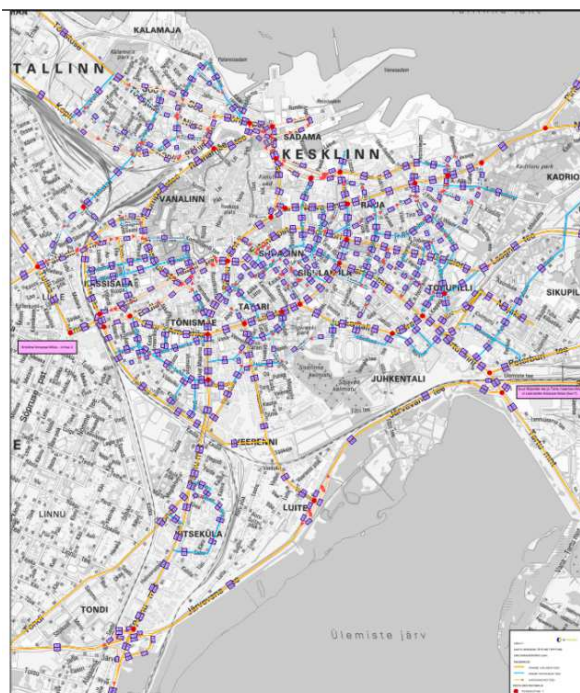
Tallinnas on 10 ristmikul ja ühel linnalähedasel maanteelõigul on paigaldatud andurid, mille kogutud info sõidukite kohta registreeritakse AS Signaal poolt vastavas andmebaasis. Andmete kvaliteeti hindas Triin Varik oma magistritöös: „Liiklusvoogude muutumise analüüs aastatel 2012-2013 Tallinna automaatseire süsteemi andmetel“. Lisaks saab linnaliikluse hindamisel kasutada Maanteeameti püsiloenduspunkte Randveres, Kangrus, Hüürus ja Kakumäel. Viimsi vallal on neli vaatluspunkti, mis on kaamerateaga varustatud ja ka neid on õnnestunud kasutada loenduste läbiviimisel. TTÜ on regulaarselt viinud läbi lühiajalisi vaatlusi kokku 46 punktis eesmärgiga hinnata kesklinna piiri liiklust (11 p), linna piiri liiklust (17 p) ja vahealadel (18 p) – lühiajaliste vaatluste tulemustest teisendatud aastakeskmised ei pruugi alati olla objektiivsed. CIVITAS-SMILE projektiga realiseeriti automaatloendus 4 ristmikku ja MIMOSA projektiga sai kokku 11 ristmikku. Andurite töörežiimis on olnud põhjendatud kahtlusi – naaberristmike analüüsi saabuva ja lahkuva liiklusvoo võrdlus on näidanud pikemaid andurite häireid ning ilmneb, et ka andurite tootja ei suuda garanteerida väikese sõidukite pikivahe korral kvaliteetset seiret. Suuremaks probleemiks on siiski tava- ja liigendbusside ning trollide ja autorongide liigitamine. Kokkuvõtteks on magistrand hinnanud andmed küll kasutuskõlblikuks, kuid puuduseks süsteemse automaatkontrolli

Graafik 5. Väljavõte K-Projekti mudeli väljatrükist kesklinna osas

ja tagasiside puudumist. Siin on võimalused tarkvaralisel tasemel. Kogu süsteemi laiendamine võimaldaks tõsta nii andmekvaliteeti kui kasutuskõlblikkust.

2.1.2. Liiklusmudelid

Kahes firmas, IB Stratum OÜ ja K-Projekt AS on koostatud Tallinna liiklusmudelid. K-Projekti andmestu ei ole avalik ja käesoleva töö raames on kasutatud Tallinna Transpordikava lisades toodud liiklusmodelleerimise tulemusi, algtasemeks 2008/2009 mis sisuliselt veel



paljuski buumiaegset liiklustaset iseloomustab (prognoosid antud kontekstis ei ole asjakohased).

Graafik 6. Väljavõte Stratumi mudelist kesklinna osas (2013)



Stratumilt on ostetud 2013 sügise andmetel uuendatud mudeli väljavõte. Nimetatud kahe linnakaardi võrdlusest on võimalik teha järeldusi, kuid samas on vahepeal muutunud liikluskorraldus (Ülemiste sõlm, bussirajad) mis kahtlemata on avaldanud ka kaudset mõju kogu linna

liiklusvoogudele. Võrreldes kahe kaardi keskmisi liiklussagedusi tänavatel, milliste kohta on

Graafik 7. Väljavõte Stratumi mudelist Endla tänava osas



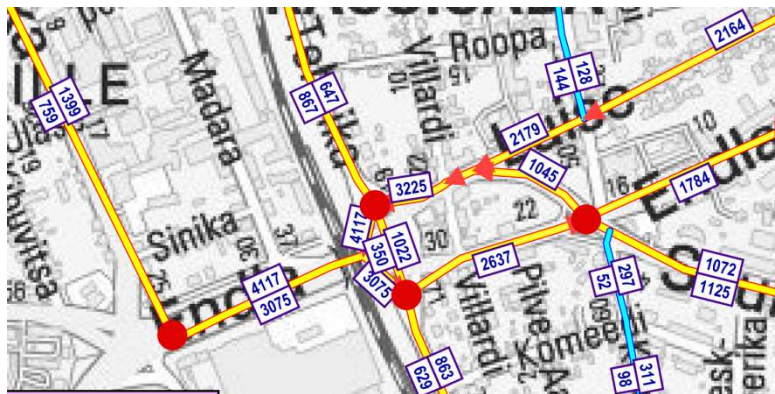
esitatud andmed (143 tänavalõiku), on Stratumi

sagedused keskmiselt 20% madalamad. Teadaolevalt tuginevad Stratumi tööd valdavalt TTÜ kordonloendustele (eeltoodud 46 punkti andmed) ning K-Projekti tööd nende mitmesuguste planeeringute ja

projektide käigus teostatud loenduste tulemustele. Viimase süsteemsuse kohta pole käesoleva töö koostajal teavet.

Mudelite suurimad erisused on Tartu maanteel (Peterburi teest linnapiirini) 3414/7068²² ja teisalt Ehitajate teel (Haabersti) 2700/1479. Vaieldamatult suurim liiklussagedus on mudelite

Graafik 8. Väljavõte K-Projekti mudelist Endla tänava osas (2009)



põhjal Endla tänaval, Järvevana teel, Pärnu maanteel (Järve) ja Tammsaare teel.

Endla tänava liiklus (2008/9) oli 4117/3075 ja 2013 – 3042/2770 autot tunnis. Erisused ulatuvad 30% tasemele (ühes suunas) Endlas, veelgi suuremad on

erisused Luises (50%). Osalt võib neid seostada liiklusskeemide muutustega, osalt kahtlemata ka bussiradade mahamärgimisega intensiivse liiklusega magistraalteedel.

Käesoleva uuringu raames teostatud liiklusloendused näitavad, et tuletades eeltoodud kahe mudeli keskmise baasil ööpäevase liiklussageduse, langeb see hästi kokku loendustulemuste ja Signaali ristmikuandurite andmete analüüsi baasil tuletatud liiklussagedusega.

Liiklusmudelite ja laiemalt võttes, liikluse modelleerimise meetodite laialdasem kasutuselevõtt võimaldaks ühelt poolt, adekvaatsemalt hinnata mitmesuguste planeeringute mõju kogu liiklusvõrgule (planeeringuprotsess), teisalt, hinnata tänavate sulgemiste mõju liiklusele ja seda arvestada tänavate ajutise sulgemise süsteemis (nii sulgemistasu määratlemisel kui vajalike täiendavate meetmete kasutuselevõtul (foorirežiimi muutused; reguleerijate kasutuse vajadus). Ja põhiline efekt mudeli kasutusest on siiski liikluse prognoosi usaldusväärsuse tõus. Tasub kaaluda nii seda, et linn haldaks ise mudelit (omades modelleerimistarkvara) või sõlmitaks vastav leping mille kohaselt konsultatsioonifirma haldab linna omanduses olevat mudelit ja tagab vajalikud täiendused ning prognoosid – linnale, kes siis edastab vajaliku info lähteülesandes projekteerijatele.

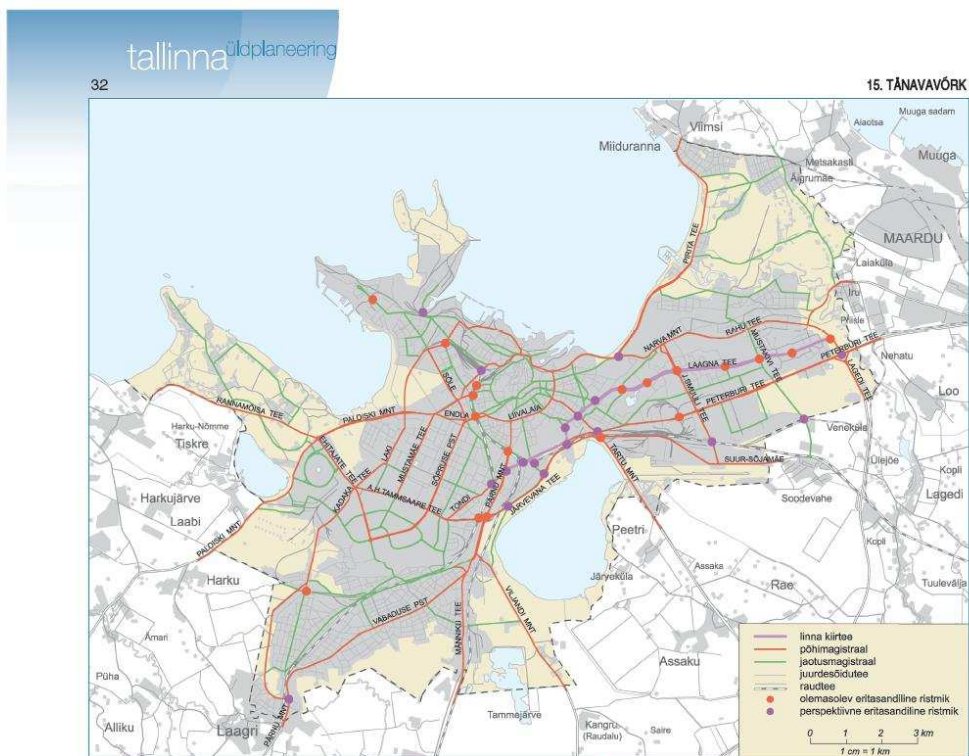
2.2. Tänavate liigitus

Linnatänavate standardi EVS 843:2003 [12] ja planeeringudokumentide alusel peaks olema määratletud tänavate liigitus, mis omakorda on täna kehtiva katendite projekteerimisjuhise [4] järgi üheks aluseks katendite projekteerimisel nii varutegurite kui minimaalselt nõutavate

²² siin ja edaspidi esitatud öhtuse tipptunni liiklus suundades, taandatuna sõiduautodele

kandevõime tasemete määramisel. Paraku viimane kehtiv planeeringudokument mis määratleb tänavate liigilise jaotuse, on Üldplaneering aastast 2001 [13].

Graafik 9. Tallinna üldplaneeringu (2001) tänavavõrgu skeem



Nagu kaardilt näha, esineb planeeringus terve rida tänavaid, mis ehitamata jäänud ja plaanidest üldse välja võetud ning samas on ka ehitatud selliseid teelõike, mis kahtlemata peaksid antud kaardil olema.

Planeeringudokument on vananenud ja vajab uuendamist. 2007 on koostatud ka planeering "Tallinna tänavavõrk ja kergliiklusteed", kuid selle menetlus on peatatud kuna rohevõrgustiku ja tänavavõrgu planeeringud konkureerisid samadele aladele ning otsuseid ei õnnestunud vastu võtta.

Seetõttu on Tallinna Kommunaalamet koostanud ja Linnavalitsus kinnitanud (26.09.2012) dokumendi "Tallinna teede liigid" (uuendatud viimati 06.11.2012), mis jagab teed ja tänavad üldjuhul vastavuses standardile EVS 843:2003 [12]. Samas on dokumendi koostamisel lähtutud ühest põhimõtteliselt eksitavast eeldusest – põhitänavad on vähemalt 4-rajalised ja

jaotustänavad 2-rajalised. Analüüsisdes linna tänavavõrku ja riigi maanteevõrku on otstarbekas teha linna tänavate jaotuspõhimõtetes mõned olulised muudatused:

- 1) riigi põhimaanteed (kuid tõenäoliselt ka tugimaanteed) peavad jätkuma linnas põhitänavatena (täna eksitakse selles osas nii Tartu maanteel Mõigu piirkonnas kui Paldiski maanteel Haabersti-Tähetorni vahelisel lõigul – Mõigu ala on juba välja ehitatud ja Paldiski maantee lõiku planeeritakse). Planeeringudokument peaks fikseerima plaani, mitte jäigalt kinni hoidma olemasolevast olukorrast.
- 2) kuna me soovime liiklust südalinnast eemale juhtida, on otstarbekas ka MITTE viia põhitänavaid välja Viru väljakule vaid piirduda kesklinna suunal kesklinnast liikluse möödajuhtimiseks rajatud magistraaltänavatega (antud juhul, kindlasti Suur-Ameerika – Liivalaia – Pronksi – Ahtri liin, mis tulevikus peaks ka ühendatama Kopli suunal – Tehnika tänavalt Balti jaama suunas läbimurre puudub). Seega tuleks siseringist sissepoole jäävad tänavad viia madalamasse kategooriasse (näiteks, Laikmaa-Lauteri-Kreutzwaldi-Kentmanni).
- 3) Kaherajalised kuid ühesuunalised tänavad (Luise, Endla) mis moodustavad liiklusskeemi mõttes orgaanilise paari, tuleks arvata kõrgemasse klassi (juhul, kuin nn. Liivalaia ringist seespool paiknevaid tänavaid põhitänavate hulgast välja ei arvata) sest kokkuvõtteks on tegemist analoogilise olukorraga nagu näiteks Ahtri tänavas (hoonestatud eraldusriba).
- 4) Teelõigud, mis on 2+2 ristlõike tõttu arvatud põhitänavaks, kuid ei ole orgaaniliselt ühendatud põhivõrku, tuleb viia madalamasse kategooriasse (Kolde pst).
- 5) Kaaluda tuleb jaotustänavateks liigitatud Juhkentali, Luise, Merivälja tee, Põhja puiestee, Rannamõisa tee ja Suur-Sõjamäe tee statuuti.

Tänavate funktsionaalne jaotus tugineb standardis esitatud diagrammile. Siit tulenevalt, ei esine juurdepääsudel läbivat liiklust – ning seetõttu tuleb selge läbivliiklusega tänavad viia magistraaltänavate kategooriasse.

Kuigi kehtivates normdokumentides on viited tee klassist tulenevale kandevõime miinimumile, tuleks katendid

siiski dimensioneerida realistlikule (reaalsele) liiklussagedusele või koormussagedusele tuginedes. Liiklussagedus mõjutab otseselt sõiduautoliikluses naastrehvide katendit kulutava mõjuga (talveperioodil) ning koormussagedus raskesõidukitest põhjustatud jäävdeformatsioonidega (suveperioodil). Projekteerimisnormide korrektuuri käigus on muudetud kandevõime miinimumi arvestamise põhimõtet – arvutuslikku kandevõimet võrreldakse tee klassist ehk tänavaliigist tuleneva, tabelites toodud minimaalse väärtusega otse, ilma seda tugevusteguriga kahandamata. Tee klassist (tänavaliigist) tulenev miinimumväärtus on oluline juhul, kui teel/tänaval on raskeliikluse osakaal minimaalne sest juba mõõduka raskeliikluse osakaalu puhul osutub katendi dimensioneerimisel määravaks koormussagedus.

2.3. Seirealade valik

Seire eesmärgiks on jälgida katendi deformatsioonide arengut seoses tegeliku liikluskoo­ormusega. Deformatsioonide määratlemine toimub laserskaneerimise teel. Suhteliselt uute objektide puhul on deformatsioonid veel tagasihoidlikud ning võimalik saada adekvaatset infot projektlahenduse ja tegelikult ehitatud konstruktsiooni kohta. Samuti on hea, kui seiresse satuksid erineva koormusega ehk erinevate konstruktsioonidega teelõigud. Laiemas mõttes uuritakse käesoleva projekti raames liikluskoo­ormusest sõltuva deformatsiooni arengut, betoonkatendeid bussipeatustes ning katendi konstruktsiooni veerežiimi.

Järgnevalt on antud ülevaade valimist:

Graafik 10. Tänavate funktsionaalne liigitus [12]

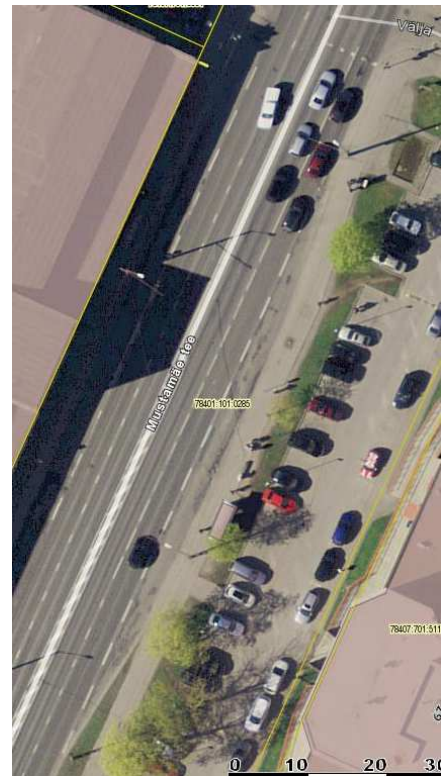
MAGISTRAALID	KIIRTEE	LIIKLUS
	PÕHIMAGISTRAAL	
	JAOTUSMAGISTRAAL	
JUURDEPÄÄSUD	KOHALIK JAOTUSTÄNAV	LIGIPÄÄS
	VEOTÄNAV	
	KÕRVALTÄNAV	
	KVARTALISISENE TÄNAV	

Bussipeatused

- Sõle tänav, Nisu peatus – linnast väljuv suund, betoon pealiskihis, peatus sõidurajal
 - o ÕTT 1023 (Stratum 2013) 1244 (K-Projekt)
 - o Signaali andmestiku referents Paldiski-Sõle, Sõle suund (AKÖL 31316, raskeliiklus 3,7%)
- Sõle tänav, Nisu peatus – linna sisenev suund, asfalt kulumiskihis, peatus sõidurajal
 - o ÕTT 657 (Stratum 2013) 671 (K-Projekt)
 - o Signaali andmestiku referents Paldiski-Sõle, Sõle suund (AKÖL 31316, raskeliiklus 3,7%)
- Sõiduplaani andmetel liiklus tööpäeval 418 ühes suunas, puhkepäeval 262 ühes suunas. Keskmine liiklus 373 ühissõidukit ööpäevas ühes suunas.
- Loendustulemus – AKÖL 18960 sh loendusajal 13% raskeliiklus (Paldiski ristmikul oli 6,6% ja aastakeskmises 4,0% (järelikut aastakeskmises raskeliiklus 7,9%, autorongide ja tavasõidukite VAAB osa väga lähedane ehk võrdne). Raskeliikluse kogus Nisu peatuses ca 20% kõrgem kui Paldiski maantee ristlõikes (Kolde bussiliin). Loendustunnis fikseeritud 165 raskesõidukit Nisus, 138 raskesõidukit Paldiski mnt ristas Sõle suunal; aastakeskmisena ööpäevas Paldiski mnt Sõle suunal 1277 raskesõidukit. Siit tulenevalt Nisu 1521 raskesõidukit aastakeskmisena ööpäevas (millest 746 ühistransport).
 - o Arvestades, et Saksa süsteemis on 425 normtelge Bk10 klassi ülempiiriks, on kindel et Saksa tüüpkatendite järgi on tegemist Bk32 klassiga (32 miljonit normtelge)



- Mustamäe tee, Välja peatus – linna sisenev suund, betoon pealiskihis, peatus taskus
 - o ÕTT 1461 (Stratum 2013) 1733 (K-Projekt)
 - o Signaali andmestiku referents – Paldiski-Mustamäe Mustamäe suund (AKÖL 26889, raskeliiklus 6,6%)
 - o Sõiduplaani andmetel keskmine liiklus 411 ühissõidukit ööpäevas
 - o Koormus ainult ühissõidukitest (lisanduvad ka juhuvedude bussid ning taksod), kuid tõenäoliselt tuleb peatus lugeda siiski Bk10 klassi Saksa süsteemis (10 miljonit normtelge)



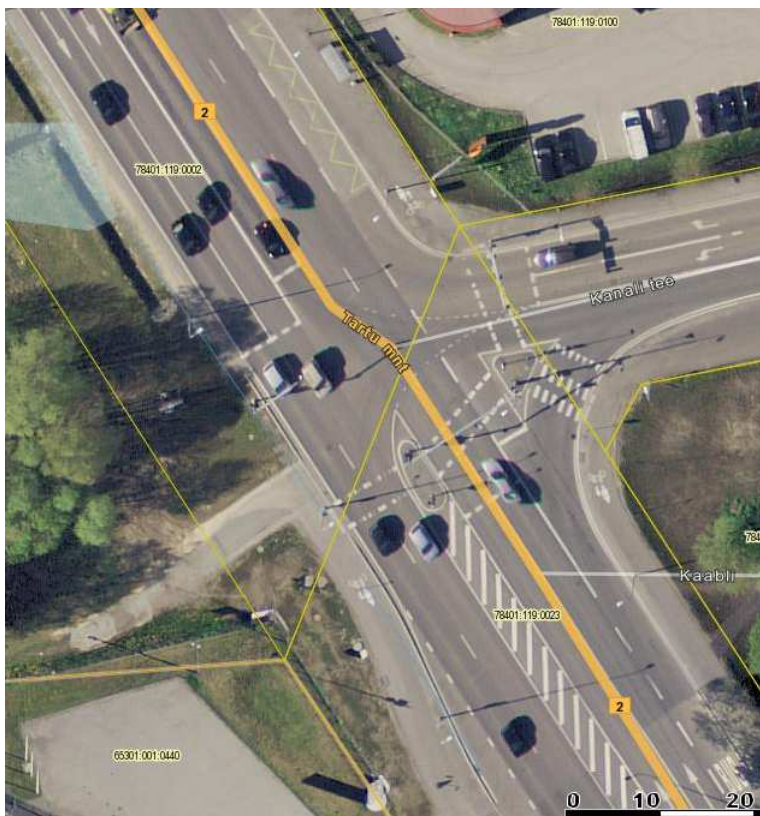


- Narva maantee, Uus-Sadama peatus – linnast väljuv suund, peatus taskus
 - o ÕTT 2865 (Stratum 2013) 3736 (K-Projekt)
 - o Signaali andmestiku referents Narva-Pronksi-Jõe Narva suund (AKÖL 1708, raskeliiklus 7,2%)
 - o Sõiduplaanide andmetel väljub peatusest keskmiselt 751 ühissõidukit päevas (liiklussagedused talvise sõiduplaani alusel). Saksa tüüpkatendite järgi peaks peatus loetama Bk32 klassi – 32 miljonit normtelge.

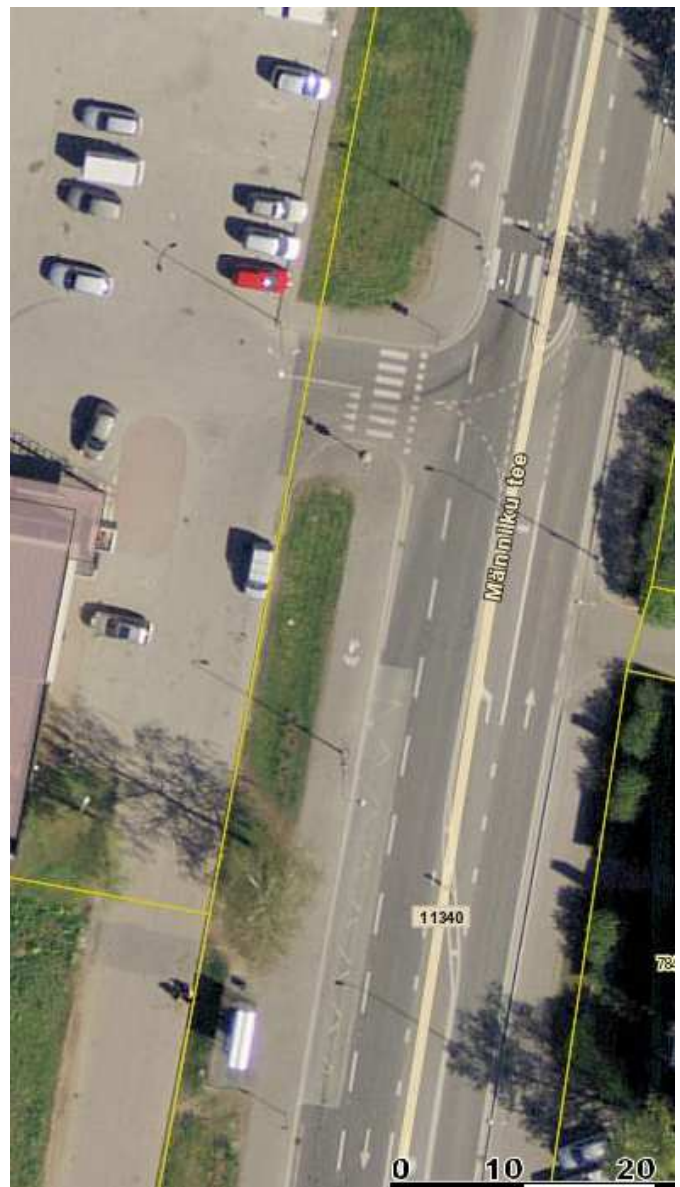
Teised ristmikuobjektid (roopa arengu jälgimine)

Seejärel on teostatud valik suhteliselt uutest objektidest, mille põhieesmärgiks on jälgida roopa arengut võimalikult varasest staadiumist et täpsustada, kas ja millises ulatuses on tarvilik erilahenduste kasutamine ristmiku lähialal roobaste arengu kahandamiseks. Liiklusinfo osas on antud esimesena linnast väljuv suund.

- Tartu maantee, Mõigu – Kanali tee ristmik (seire Tartu maanteel ristmiku lähialas)
 - o liiklusinfo: Maanteeameti püsiloenduspunkt Tartu maanteel (Peetri km 7,2), 2013 AKÖL: 18139, raskeliiklus 7% (693 VAAB, 620 AR)
 - o mudel: ÖTT 1829/1537 (Stratum) 1769/1630 (K-Projekt) – vastab AKÖL 33660-33990 = 33825; Stratum Maanteeameti loenduspunktis 1359/1054
 - o Signaal: referents puudub
 - o Koormus: püsiloenduse ja mudeli suhtest $Q=1494$ normtelge/ööp.
 - o konstruktsioon: SMA 16 – 4 cm, AC 16 bin – 4 cm, AC 32 base – 6 cm, MUK 12/32 – 6 cm, tardkivikillustik – 12 cm, paekillustik – 13 cm, geotekstiil, keskliiv – 25 cm, peenliiv – >55 cm (tehnovõrkude tõttu aluspinnas liivast allpool vahelduv kuid võib lugeda ühtseks peenliivaks)



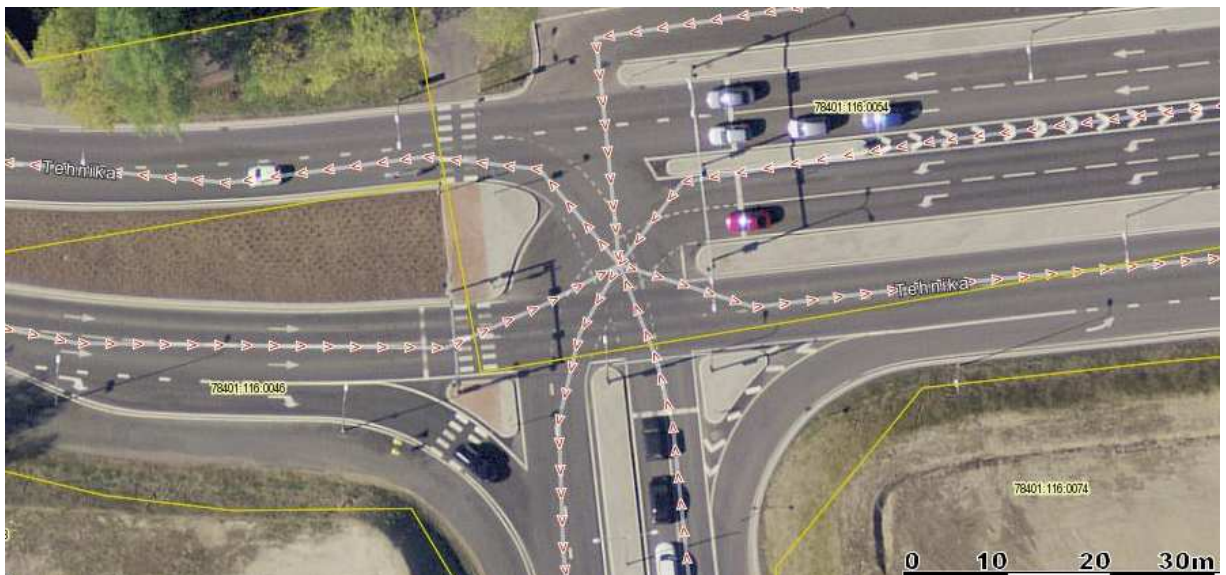
- Männiku tee, Männiku – Säastumarketi lähiala (seire Männiku teel)
 - o liiklusinfo: Maanteeameti loendused riigimaanteel 11340 (km 7,2) AKÖL 6309, raskeliiklus 7% - VAAB 228, AR 155
 - o mudel: ÖTT 546/324 (Stratum) 593/278 (K-Projekt) = AKÖL 8700-8710
 - o koormus: T11340 ja mudeli suhtarvu teel ($a=0,55$) 758 normtelge/ööp.
 - o Signaal: referents Pärnu mnt Järvevana, Pärnu suund (AKÖL 53557, raskesõidukid 4,3% kuid Männiku teel on see tõenäoliselt suurem sest Vabaduse puiestee raskeliiklus on piiratud)
 - o Konstruktsioon: AC 16 surf – 4 cm, AC 16 base – 5 cm, MUK 12/32 – 7 cm, paekillustik – 25 cm, keskliiv – 30 cm, aluspinnas - keskliiv



- Ranna tee, Olerexi tankla – Seire Ranna teel, juurdepääsu ristmiku lähiala
 - o liiklusinfo: Maanteeameti loendused riigimaanteel 11250 (km 0,6) – AKÖL 14871, raskeliiklus 1% - 200 VAAB, 162 AR (2013)
 - o mudel: ÖTT 1036/601 (Stratum) 1043/930 (K-Projekt) – AKÖL 18050
 - o Signaal: referents Narva mnt - Pronksi ristmik, Narva suund (AKÖL 17808, raskeliiklus 7,2%)
 - o Koormus: $(VAAB \cdot 0,8 + AR \cdot 2,9 = 630; a = 0,45)$ $Q = 283$ normtelge/ööp
 - o konstruktsioon: SMA 16 – 4 cm, AC 20 bin – 5 cm, AC 32 base – 6 cm, paekillustik – 25 cm, keskliiv - >20 cm, peenliiv - >55 cm, aluspinnas kerge liivsavi



- Tehnika-Filtri ühendus, sõjaväekalmistu lähiala, seire „Kaamose ringile“ suunduva ristmiku lähialas (uus teelõik, varasem info puudub)
 - o mudel: ÖTT 1081/451 (Stratum) – AKÖL 15000
 - o Signaali referents: Pärnu mnt Järvevana, Järvevana suuna liiklus (AKÖL 56403, raskeliiklus 7,4%)
 - o loendus: AKÖL 16,900
 - o koormus: ca 200 normtelge enamkoormatud rajal
 - o Konstruktsioon: SMA16 – 5 cm, AC 16 bin – 4 cm, AC 32 base – 6 cm, MUK 8/16 – 5 cm, tardkivikillustik – 10 cm, paekillustik 12 cm, keskliiv 20 cm, aluspinnas – täiteliiv (arvestame peenliivana)



- Ehitajate tee – Õismäe tee – seire Ehitajate teel, Maxima mahasõidu ja Õismäe tee ristmiku lähialas
 - o mudel: ÖTT 939/556 (Stratum) 1009/470 (K-Projekt)
 - o Signaal: referents Tammsaare tee – Ehitajate tee, Õismäe suund (AKÖL 30408, raskeliiklus 5,2%)
 - o Loendus 21.10.2014 10:30-11:30– 1360 sõidukit, 4,04% VAAB; 1,25% AR
 - o Tammsaare samal ajal – 2094 sõidukit; 5,07% VAAB; 1,65% AR; 0,09% NC
 - o Aastakeskmise taandatud: AKÖL 20289; VAAB 3,40%, AR 0,87%.
Koormussagedus ($VAAB \cdot 0,8 + AR \cdot 2,9 = 1065$; $a = 0,45$) $Q = 762$ telge ööp.
 - o konstruktsioon: SMA 16 – 4 cm, AC 20 bin – 6 cm, AC 32 base – 6 cm, paekillustik – 25 cm, keskliiv - >20 cm, aluspinnas – peenliiv



Lisaks on info enimkoormatud teelõigu konstruktsioonist – Järvevana tee (2+2 ristlõige Veerenni-raudteeülesõidu vahelisel alal: SMA 16 – 5 cm, AC 16 bin – 5 cm, AC 32 base – 6 cm, MUK 8/16 – 5 cm, tardkivikillustik – 10 cm, paekillustik – 13 cm, keskliiv – 20 cm, aluspinnas – peenliiv.

Esmane seire on kõigil eelpool loetletud objektidel teostatud, laserskaneerimise teel on fikseeritud olemasolev olukord ning täpsustatakse liiklussagedusi. Mustamäe teel ja Narva maanteel selleks vajadus puudub, kuna peatused paiknevad taskus ja liiklus koosneb vaid regulaarliinidest, mille sagedus on määratud sõiduplaanidega.

Veerežiimi jälgimine

Veerežiimi jälgimine on planeeritud kõigil seireobjektidel kogu seireperioodi jooksul.

- o Suur-Sõjamäe
- o Kotka tn
- o Ehitajate tee
- o Järveotsa tee ja Paldiski mnt ristmik (betoontee projekt)
- o Kalaranna tn 2 tk
- o Vineeri tn
- o Tondi tn
- o Hiiu tn
- o Nisu-Sõle (bussipeatus)
- o Välja (bussipeatus)
- o Uus-Sadama (bussipeatus)

3. Tüüpkatendite ettepanek Tallinnale

3.1. Soome tüüpkatendi koormusanalüüs ja adapteerimine Eesti tingimustele

3.1.1. Koormusanalüüs

Siirdetegurite osas kasutame Soome maanteede projekteerimisel ettenähtud süsteemi, kus VAAB klass hinnatakse keskmiselt 0,8 ja AR keskmiselt 2,9 normteljega. Eesti riigimaanteede liiklussageduste (2013 loendustulemused) analüüsi järgi moodustavad sõidua autod kokku 88,9%, veoautod ja autobussid 3,5% ning autorongid 7,6% liiklusest. Et raskeliikluse osakaal on erinevatel riigiteedel erinev sõltudes nii tee funktsioonist kui liikluskoo musest, oleme valinud raskeliikluse osakaalud liiklussageduste vahemikust Eesti riigiteede andmebaasi tööt luses. Tabelis on toodud koormussagedused (Q) klassi keskväärtusele (10-ndal aastal) ning klassi ülemise piiri puhul (tüüpkatend kehtib kogu klassi liiklussageduse piires, seega peab vastama klassi max piirile).

Tabel 12. Koormusklassid ja nõutud kandevõime

Tä nava koormusklass	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)
Ristlõige: liiklussagedus (AKÖL)	2+2: 30,000- 60,000	2+2: 10,000- 30,000	1+1: 2,500- 10,000	1+1: 500- 2,500	1+1: 0- 500
Arvestuslik max koormus (miljonit telge)	40	25	10	2,5	0,5
Nõutud E (Infra RYL)	500	420	350	250	200

Liiklussagedustel üle 60,000 auto ööpäev as on ristlõikes vajalik enam kui 2+2 sõidurada ning tõenäoliselt ei suurene katendi koormus raskesõidukite osas märkimisväärselt (see siiski vajaks tõestust Järvevana liikluse jälgimisega Signaali statistikast). Suure tõenäosusega on ka madalamate koormusklasside puhul raskesõidukite osa liikluses keskmisest väiksem, kõrgeima koormusklassi liikluskoo sseis aga lähemal maantee klassidele.

Valides liikluskoo muse struktuuri vastavuses Eesti riigimaanteede vastava liiklussagedusega teede liikluse struktuurile (VAAB ja AR osakaal liikluses) ning arvestades, et klassipiirina kasutatakse liiklussagedust AKÖL+10 eeldame liikluse kasvu 10 aastaga 25%.

3.1.2. Soome tüüpkatendi klasside adapteerimine Eestile

Ehituslikud konstruktsioonid eeldustel:

- drenkihil kandevõimenõuded (Inspector) – 65 MPa (kvaliteedinõuded [14]);
- killustikalusel kandevõimenõuded (Inspector) – 170 MPa (kvaliteedinõuded [14]);
- paekillustiku elastsusmoodul 240 MPa (TTÜ ettepanek MNT-le);
- SMA, AC surf, AC base elastsusmoodulid on valitud vastavuses Eesti juhendiga
- KS elastsusmoodul on valitud Soome juhendist (KOST) – 1250 MPa [16]
- MUK elastsusmoodul 600 MPa on valitud Vene juhendist (BCH 46-83 [3]) vastavalt alusele ettenähtule (Eesti juhendis on valitud kõrgem väärtus; Soomes analoogne materjal puudub)
- TS elastsusmoodul on valitud Soome juhendist (SST) – 1500 MPa (kehtib, kui 7-päevane survetugevus on vähemalt 3 MPa – Eesti kvaliteedijuhend nõuab vähemalt 2 MPa) [16]

Kulumisvaru on arvestatud liiklussagedustel üle 10,000 AKÖL 2 cm, vahemikus 2,500-10,000 - 1 cm (projekteerimisnorm lubab lisada kulumisvaru; Maanteeamet on riigimaanteedel otsustanud kasutada 1 cm varu asfaltkatetel; antud juhul suurema varu kasutamine lähtub eeldusest, et kõigil teedel ei ole võimalik tagada etteantud seisundinõudeid roopasügavuse osas).

Vastavalt Soome reeglitele on killustikaluse suurema kihipaksuse korral (üle 30 cm) kiht jagatud 20..30 cm paksusega alamkihtideks. Graniitkillustiku kasutamist ei pea otstarbekaks, kui selle peal on juba paekillustikuga tehtud kihid.

Konstruktsiooni projekteerimisel arvestame paigaldatava kihi paksuse osas Eestis kehtivaid reegleid (asfaldi max 3,33D ehk 16 mm tera max 50 mm, 20 tera 65 mm, 32 tera 105 mm; MUK 12/32 – 7...10 cm, killustik 10...25 cm kiht). Tabelis on toodud viie koormusklassi (A-B-C-D-E) jaoks konstruktsioonid erinevatel alustel (paekillustik, mustkillustikust alus paekillustikul).

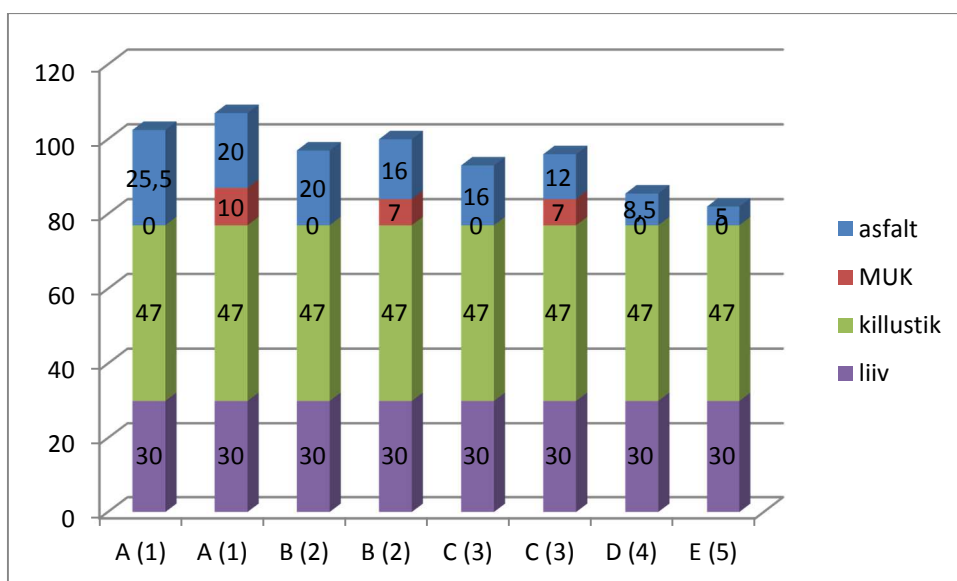
Konstruktsiooni aluspinnasena on arvestatud drenkihti vastavuses kvaliteedinõuetes [14] sätestatud kandevõimega (65 MPa). Madalamates klassides (D, E) ei ole ette nähtud MUK kasutamist.

Tabel 13. Konstruksioonikihtide ehituslikud paksused koormusklassides

Klass: AKÖL		A: >30,000		B: 10,000-30,000		C: 2,500-10,000		D: 500-2,500	E: <500
Kiht	E	P	MUK	P	MUK	P	MUK	P	P
SMA	3200	5	5	5	5				
AC surf	2500					6	5,5	4	5
AC bin	2500	6	5,5	6	5				
AC base	1400	14,5	9,5	9	6	10	6,5	4,5	
MUK	600		10		7		7		
killustik	240	47	47	47	47	47	47	47	47

Tabelis on toodud konstruksioonikihtide ehituslikud paksused (koos kulumisvaruga ülakihis, A ja B-gruppidel 2 cm, C-grupil 1 cm) sentimeetrites.

Graafik 11. Katendikihtide paksused tüüpkatenditele (paekillustikalusel ning MUK-ga)



Aluse nõutavaks kandevõimeks loeme killustikalusel (sealhulgas ka MUK all) 170 MPa. Dreenkihis kasutatud materjal ja kihi paksus võimaldavad erinevate aluspinnaste korral saavutada kihil nõutud kandevõime (65 MPa). Odemarki valemi järgi, eeldades drenkihis kasutatava liiva E-mooduliks 100 MPa (maksimaalne Soome reeglite järgi) ning kihipaksuseks 30 cm, on nõutud kandevõime tagatud kui drenkihi all on mõõdetud 36 MPa. Järelikult, väiksema kandevõime puhul tuleb aluspinnast tugevdada (asendada nõrgemad pinnased, või stabiliseerida aluspinnased (kas tugevama materjaliga segamise teel või tsementstabiliseerimise

meetodil) ja tihendada tapprulliga. Kui aluspinnase mõõdetud kandevõime on kõrgem, on võimalik killustikaluse paksust kahandada.

3.2. Eriolukorrad

3.2.1. Katendid staatilise koormuse mõjualas

Staatilise koormuse mõjualaks loetakse ühissõidukirajad ja ühissõidukipeatused ning ristmikualad teedel, kus summaarne koormussagedus ületab 2 miljonit normtelge. Vastavalt Soome juhendile [8] tuleb staatilise koormuse mõjualas kasutada nihkekindlamat asfaltbetooni ja lisaks kas stabiliseeritud aluseid või täiendavat kihti poorset asfaltbetooni (Soome normides 8 cm) kahandades vastavalt killustikaluse paksust. Suure koormusega ühissõidukipeatuses on otstarbekas kasutada poolelastseid katendeid (Confalt, Densifalt) ning selliste katendite dimensioneerimisel tuleb juhinduda kas Taani katendiarvutuse tarkvarast (MMOPP2013 või uuem) või erisegu tootjajuhistest. Betoonkatendite kasutamise otstarbekus selgub alustatud seire tulemusena.

Teede projekteerimismõõtmisnormis nähakse ette tugevdatud konstruktsiooni kasutamine stoppjoonest 100 m ulatusel mõlemas suunas. Soome normides on vajalik ala piiritletud 100 m enne stoppjoont kuni 60 m pärast stoppjoont. Ala ulatuse täpsustamine on võimalik alustatud seire pikemaajaliste tulemuste baasil.

3.2.2. Katendid tugeval aluspinnasel

Vastavalt ka Soome tüüpkatenditele, piirduakse juhul, kui aluspinnaseks on liivpinnastest tugevam materjal (kruus, paekivi), ühe killustikukihiga asfaltkatte all. Sellisel juhul on mõistlik kasutada ainult tardsivikillustikku (15 cm), kuid ehitades teed/tänavat paekivialusele, tuleb tagada veeäravool aluspinnaselt ehk kivimilt – selleks peab aluspõhi olema silutud ja profileeritud kaldele, mis vastab tee pinna kaldele (reeglina 2,5%) ja pinnal ei tohi esineda lohke, kuhu saaks vesi koguneda. Juhul, kui vajalikku tasasust ei õnnestu saavutada kaevetöödel, tuleb kasutada tasanduskihti kas madala survetugevusega betoonist, mustsegust või asfaldist.

3.3. Kihtide kandevõime mõõtmistest

Saksa (ja Leedu) süsteemis on fikseeritud kandevõime nõuded E_{v2} süsteemis, mida mõõdetakse üldjuhul plaatkoormuskatsega. Lähedased tulemused on saavutatavad ka Saksa päritolu dünaamilise seadmega (HMP). Asfaldikihtidel kandevõime mõõtmist üldjuhul ette nähtud ei ole (Teede Tehnokeskuse mõõtmised teostatakse hiljem, katendi seisundi hindamise

protsessis), ka ei anna projekteerimisjuhend (tüüpkatendite kataloog) konkreetseid kandevõime väärtusi mõõtmistulemustega võrdlemiseks.

Kuigi Rootsi ja Taani süsteemides opereeritakse kihtide kandevõime väärtustega, ei ole lõpptulem seostatud konkreetse numbrilise väärtusega – seega on raske leida ka vahepealsetel kihtidel mõõdetavaid ja võrreldavaid väärtusi.

Uuritud riikidest vaid Soomes on selged viited dünaamilise mõõteseadme kasutamisele (Loadman). Võrreldes Soome ja Taani katendites kasutatavaid materjale, selgub et Soomes praktiliselt ühtlaseteralisi liivasid ei kasutata – liiva roll katendis piirdub külmakaitsega ja nõuded liivale seonduvad külmakindlusega (külmakerke puudumisega). Taanis ei ole külmumissügavused meie tingimustega võrreldavad ning norm näeb ka ette ühtlaseteraliste liivade kasutamise (tõenäoliselt põhjusel, et teistsuguseid ei leidu). Peeter Talviste uurimistööd (doktoridissertatsioon; Eesti liivade võrdlev uuring Maanteeametile 2014) näitavad, et dünaamilised seadmed (nii tihendamiseks kui kandevõime kontrolliks) sobivad just eriterastikulistele liivadele ja ühtlaseteraste liivasid saab korralikult tihendada vaid staatiliste rullidega ning tihendust ja kandevõimet mõõta vaid staatiliste seadmetega (plaatkoormuskatse). Siit tulenevalt saab järeldada, et Eestis tuleb teha valikud:

- kasutada dünaamilisi seadmeid (Inspector; vibrorullid) ning loobuda (filtratsiooni) nõuetest mis sunnivad kasutama ühtlaseteralist liiva ja sätestada seejuures ka dünaamilise kontrolli seadmega mõõdetavad nõuded; või
- jätkata ühtlaseteraste liivade kasutamist (säilitades nõuded filtratsioonile) ning piirata dünaamiliste seadmete kasutamist – ka see eeldab konstruktsioonikihtide tugevdamist vähemalt Taani dimensioneerimissüsteemi tasemele et kompenseerida ühtlaseteraste liivade madalamat kandevõimet. Kvaliteedikontrolliks kasutada seejuures pistelises kontrollis plaatkoormuskatset.

Otstarbekas on käivitada uurimistöö ehitusaegse kvaliteedikontrolli arendamiseks (et valida sobilikud seadmed ja nendele vastav arvutusmetoodika ning täpsustada materjalide omadusi). Selle töö raames tuleb ehitusprotsessi käigus fikseerida materjalide omadused (sõelkõver, plastsus, veesisaldus) ja kihipaksused ning erinevate seadmetega mõõdetud kandevõime väärtused. Piisavalt laia materjalide valiku korral on võimalik kontrollida Odemarki valemi ja Inspectori mõõtmistulemuste vahelist seost ja täpsustada erinevate materjalide

elastsusmoodulite väärtusi. Samas on mõistlik võrdlusse lisada Dynatest LWD seade sest sellega käib koos kihtide elastsusmoodulite tagasiarvestuseks sobilik tarkvara (ELMOD arendus LWD seadmele) ja plaatkoormuskatse (mis tagab ühilduvuse ka Saksa süsteemiga).

Kuigi Soome juhendis (InfraRYL) on välja toodud kandevõime väärtused erinevatel kihtidel, ei ole tänaste teadmiste valguses nende üks-ühene kasutamine Eesti tingimustes võimalik juba seetõttu, et Soome süsteemis puuduvad analoogid mõnedele meil kasutatavatele materjalidele (tardkivikillustiku ja paekillustiku omadused ei ole võrdsed; mustkillustikku ei kasutata).

3.4. Seiresse valitud teelõikude konstruktsiooni võrdlus tüüpkatenditega

Võrdluses on esmalt liigitatud tänav Soome süsteemi järgi koormusgruppi, hinnatud koormussagedus ja antud konstruktsiooni liigitus, hinnatud seotud kihtide paksust tegelikult (eeldusel, et MUK arvestatakse 50% ulatuses asfaldiks) ja võrreldud seda Soome ning Saksa süsteemi tüüpkatendiga. Võrdluse aluseks on tänasest koormussagedusest (Q_0) 20% kasvuga 10 aasta jooksul prognoositud 20 aasta normtelgede arv.

Tabel 14. Seireobjektide konstruktsiooni võrdlus tüüpkatenditega

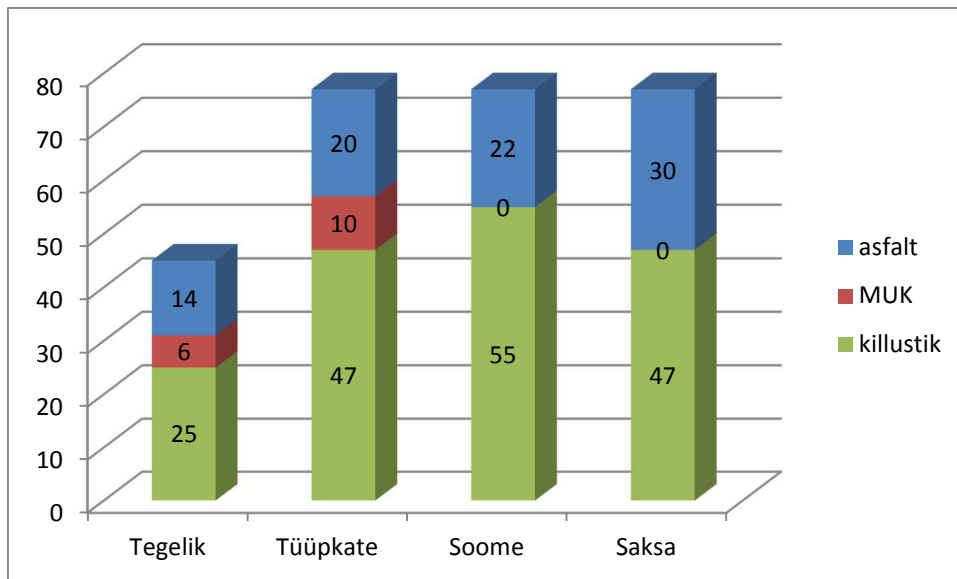
		AKÖL ₀	Q ₀	miljonit telge	Tegelik	Tüüpkate	Soome	Saksa
Mõigu	2+2	34,000	1494	13,1	17	24	22	30
Männiku	1+1	8700	758	6,6	12,5	19,5	16	26
Ranna	2+2	18000	542	4,8	15	20	19	26
Tehnika-Filtri	2+2	15000	402	3,5	17,5	19	19	26
Ehitajate	2+2	14900	760	6,7	17,5	19	19	26

Märkused valimi objektide osas ja võrdlused

1. Mõigu – 2+2

- konstruktsioon kolmekihiline asfaltkate (SMA) MUK ja tardkivikillustikuga. Killustikalus eristatud liivadest geotekstiiliga. Arvestuslik seotud kihtide paksus 17 cm.
- märkused: puudub kulumisvaru või on see ebapiisav; AC 32 base ei ole normide järgi 6 cm lubatud (min 6,5 cm).

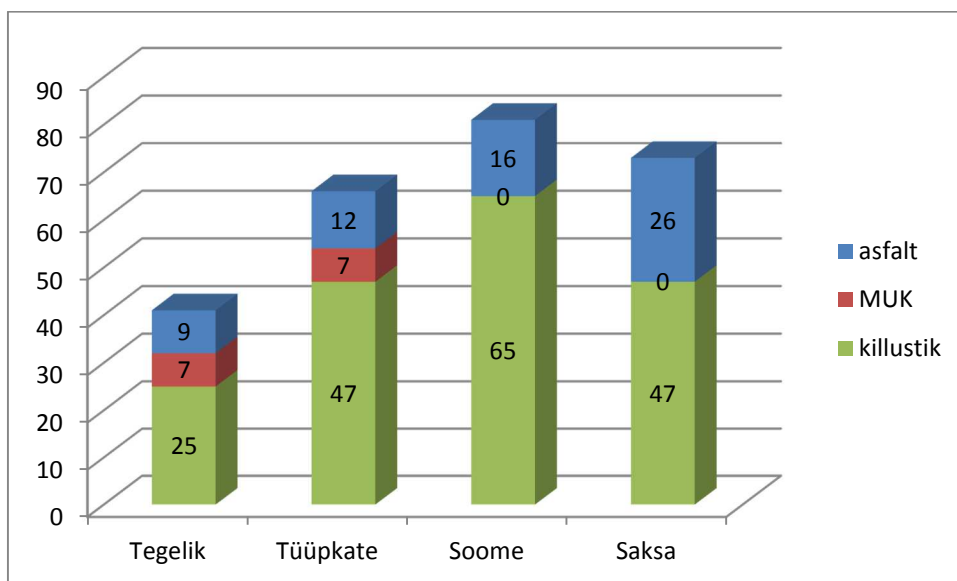
Graafik 12. Möigu katendivõrdlus



2. Männiku – 1+1

- konstruktsioon: kahekihiline asfalt, MUK – AC 9 cm; arvestuslik 12,5 cm

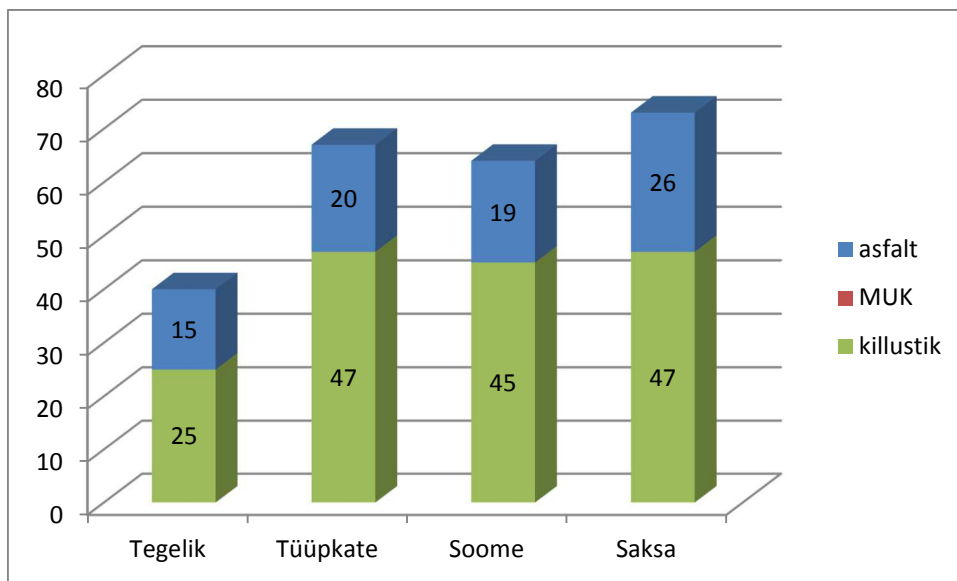
Graafik 13. Männiku katendivõrdlus



3. Ranna tee – 2+2

- konstruktsioon: kolmekihiline asfalt (SMA kulumiskihis) paekillustikalusel - AC 15 cm

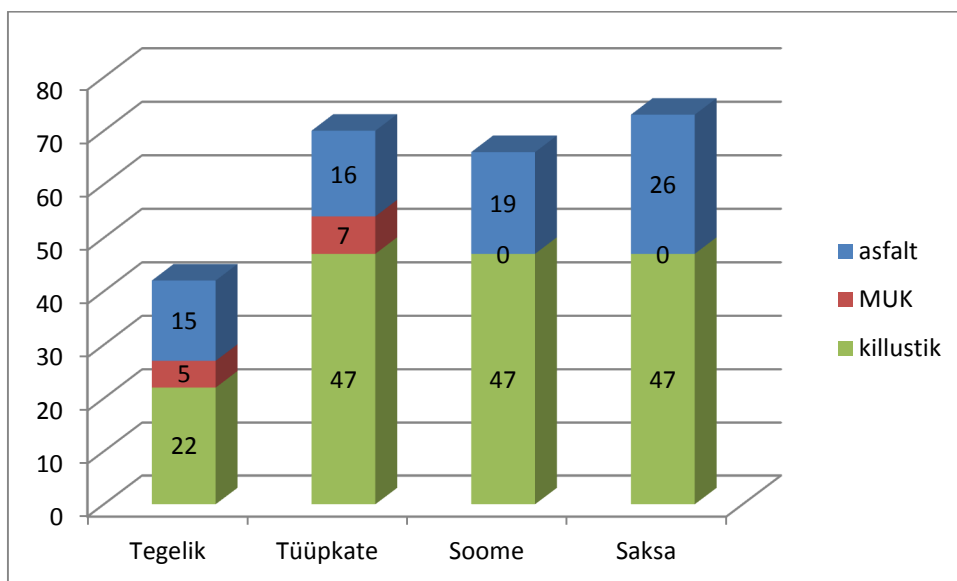
Graafik 14. Ranna tee katendivõrdlus



4. Tehnika-Filtri + 2+2

- konstruktsioon: kolmekihiline asfalt (SMA) MUK tardkivikillustikul; arvestuslik 17,5 cm
- märkused: kulumisvaru on arvestatud, AC 32 base kihipaksus võiks olla 7 cm (kvaliteedijuhend). Killustikukihid suhteliselt õhukesed, geotekstiiliga ei ole eristatud – risk kihtide segunemiseks.

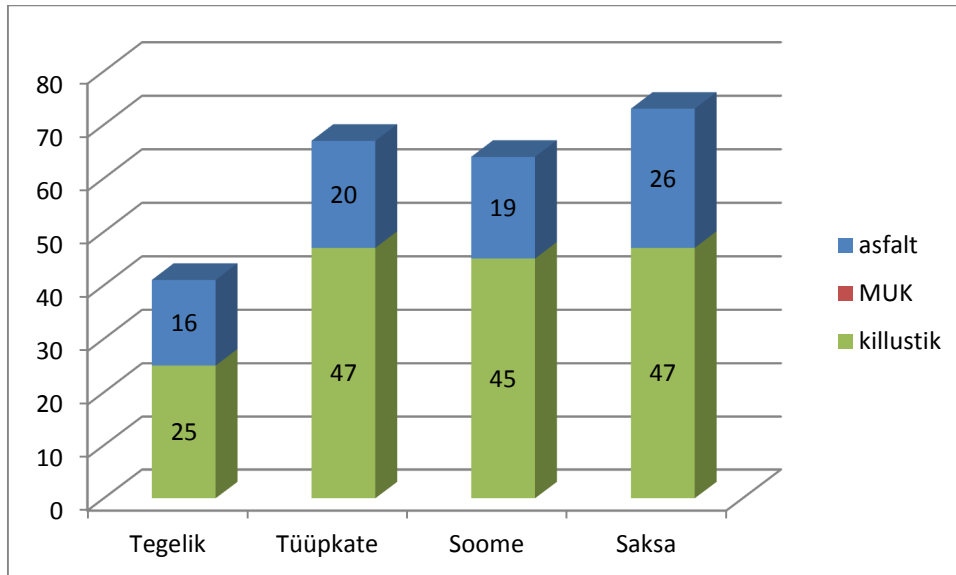
Graafik 15. Tehnika-Filtri katendivõrdlus



5. Ehitajate tee (Maxima)

- konstruktsioon: 16 cm asfalti (SMA) paekillustikul
- märkused: AC 32 base kiht 6 cm liiga õhuke

Graafik 16. Ehitajate tee katendivõrdlus



3.5. Juhis tüüpkatendite kasutamiseks

Projekteerija teostab liiklusuuringu, mille käigus määrab liiklussageduse ja koostab prognoosid 20 aasta (katendi tööea) arenguid arvesse võttes liiklussageduse ja koormussageduse jaoks. Kui puuduvad täpsemad alused, võib lihtsustatult arvestada 20% tõusuga kümne aasta jooksul.

20 aasta perspektiivis esinev maksimaalne aastakeskmise liiklussagedus (mõlemad suunad kokku) määrab tänava ristlõike. 10-nda aasta liiklussageduse järgi otsustatakse kulumisvaru vajadus ja ulatus – liiklussagedustel üle 2500 AKÖL arvestatakse kulumisvaruks 1 cm, liiklussagedustel üle 10,000 AKÖL on kulumisvaru 2 cm.

Loenduse käigus fikseeritakse sõidukite liigiline jaotus vastavuses sõiduki pikkusega – sõidua autod ja pakiautod on kuni 6-meetrised (katendiarvutuses ei arvestata), veoautod ja autobussid jagunevad kuni 12-meetristeks (siirdetegur 10-tonniste telgedele arvestamisel 0,8) ja pikemateks (siirdetegur 2,9). Siirdeteguri väärtust täpsustatakse järgnevate uuringutega.

Tuginedes liiklusprognoosile leitakse summaarne normtelgede arv enamkoormatud sõidurajale (miljonites telgedes) 20 aasta jooksul. Seejuures arvestatakse kas 10-nda aasta prognoosi

(korrutades seda 20 aasta ja 365,25 päevaga) või esimese ja 20-nda aasta keskmist (korrutades seda analoogiliselt aastate ja päevadega). Vastavalt saadud tulemusele valitakse tüüpkatend **Error! Reference source not found.** toodud väärtustest (koormustel üle 25 miljoni normtelje A; 10-25 miljonit telge B; 2,5-10 miljonit telge C; 0,5-2,5 miljonit telge D ning alla 0,5 miljoni telje E lahtrist. Tabelis toodud väärtused sisaldavad ülakihis kulumisvaru.

Kokkuvõte

Käesolevas töö I osas on uuritud katendite projekteerimise põhimõtteid ja eriti tüüpkatendite temaatikat, fookusega Soome, Taani ja Saksamaa kogemustel. Arutelude tulemusel otsustati võtta aluseks Soome linnatänavate juhis mis tugineb üheselt ainult liiklussagedusel. Soome normide analüüsiga on toodud välja ka üldistatud alused liiklussageduse teisendamiseks koormussageduseks, mis on aluseks katendi dimensioneerimisel ja samas ka võimaldab pidada arvestust katendi jääkressursi üle, lahutades iga-aastaselt arvestuslikust ressursist loendatud liiklussageduste alusel eluea jooksul toiminud koormused.

Et Soome süsteemi aluseks on Odemarki valem (tüüpkatendid kirjeldatud InfraRYL 2010 lisas) ning mõõteseadmete Loadman ja Inspector näidud on võrreldavad ning peaksid kirjeldama Odemarki valemiga arvutatud tulemusi, on tüüpkatendite dimensioneerimisel aluseks võetud kehtivad kvaliteedinõuded, mille kohaselt drenkihil peab kandevõime olema vähemalt 65 MPa ja sidumata alusel 170 MPa.

Tüüpkonstruktsioonid on koostatud erinevate liikluskoormuste jaoks (viiele koormusklassile) killustikalusel ja MUK-ülakihiga aluse puhul.

Katendikonstruktsiooni valik teostatakse koormusgrupi alusel vastavalt summaarsele koormusele (miljonit normtelge). Kulumisvaru lisatakse ülakihile vastavalt ööpäevakeskmisele liiklussagedusele (üle 10,000 – 2 cm; 2500-10,000 – 1 cm; alla 2,500 – ei lisata).

Aladel, kus on tegemist suure raskesõidukite koormusega, sõidurajad on kitsendatud (piiritletud ühissõidukirajad) ning stoppjoonega ristmike lähialadel ööpäevasel liiklussagedusel üle 3000 auto, tuleb ette näha täiendava poorse asfaldi (AC base) kihi kasutamine kahandades vastavalt arvutuslikku killustikaluse paksust.

Liiklusloenduse osas on otstarbekas arendada edasi liikluse modelleerimise võimalusi, piirdudes sõidukite liigilise jaotuse fikseerimisega sõiduki pikkuse alusel analoogiliselt riigimaanteedega (sõidua autod kuni 6 m, veoautod ja bussid 6-12 m ning autorongid üle 12 m). Regulaarselt uurida valitud grupi siirdetegureid kontrollkaalumistega ja koostöös Maanteeametiga kaalupunktide andmete analüüsil ning vajadusel korrigeerida koormusarvestuse aluseid.

Vajalik on põhjalikumalt uurida alljärgnevaid aspekte:

- siirdetegurite täpsustamine (Maanteeameti kaalupunktid; Muuga tee kaalupunkt; ühistranspordi kontrollkaalumised ning erinevate rehvitüüpide kasutuse mõju katendile);
- kvaliteedikontrolli süsteemi arendamine - kandevõime mõõtmise (Inspector, Dynatest LWD ja plaatkoormuskatse), katendi dimensioneerimise ja tagasiarvutustarkvarade (Odemarki valem; ELMOD jt) võrdlev analüüs ning materjalide arvutusparameetrite täpsustamine;
- staatilise koormuse parem arvestamine (Taani meetod asfaldi efektiivse elastsusmooduli kahandamisega sõltuvalt sõidukiirusest tiipturnil) ja kitsendatud sõiduraja mõju arvestamine (Taani, parandustegurid)

Kasutatud kirjandus

1. InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet.
2. Tee projekteerimise normid (RT I, 23.07.2014, 1 – jõust. 15.08.2014)
3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА ВСН 46-83; МИНТРАНССТРОЙ 1985
4. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52, Maanteeamet
5. СП 34.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85
6. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 46-83)
7. ТКП 45-3.03-112-2008, АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ. НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ. Правила проектирования
8. Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. TIEH 2100029-04.
9. МОДН 2-2001 Проектирование нежестких дорожных одежд.
10. RStO12. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsfläichen
11. Liiklusloenduse metoodika koormussageduse määramiseks, Maanteeamet 2009-7
12. EVS 843:2003 Linnatänavad
13. Tallinna üldplaneering, <http://www.tallinn.ee/est/ehitus/Tallinna-linna-uldplaneering>
14. Tee ja teetöde kvaliteedinõuded, RT I, 11.03.2014, 3
15. Teetöde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022. TTÜ Logistikainstituut 2013 / Maanteeamet
16. Tietoja tiensuunnitteluun nro 71D. Tien päällysrakenteen mitoituksessa käytettävät moduulit ja kestävyysmallit. 2005

Jooniste ja tabelite loetelu

Graafik 1. Soome tüüpkatendid D-grupi aluspinnasele (50 MPa) – asfaldi ja killustikukihi paksused..	11
Graafik 2. Tee kandevõime nõuded linnas ja maal (MPa - AKÖL).....	14
Graafik 3. Asfaltkatte paksus erinevates koormusklassides Saksa normi järgi	18
Graafik 4. Veoautode struktuuri muutus aastatel 2001-2013	26
Graafik 5. Väljavõte K-Projekti mudeli väljatrükist kesklinna osas	29
Graafik 6. Väljavõte Stratumi mudelist kesklinna osas (2013).....	30
Graafik 7. Väljavõte Stratumi mudelist Endla tänava osas	30
Graafik 8. Väljavõte K-Projekti mudelist Endla tänava osas (2009)	31
Graafik 9. Tallinna üldplaneeringu (2001) tänavavõrgu skeem	32
Graafik 10. Tänavate funktsionaalne liigitus [12].....	34
Graafik 11. Katendikihtide paksused tüüpkatenditele (paekillustikalusel ning MUK-ga)	46
Graafik 12. Mõigu katendivõrdlus.....	50
Graafik 13. Männiku katendivõrdlus.....	50
Graafik 14. Ranna tee katendivõrdlus.....	51
Graafik 15. Tehnika-Filtri katendivõrdlus.....	51
Graafik 16. Ehitajate tee katendivõrdlus.....	52

Tabel 1. Kandevõimenõuded ja linnatänavate liigitus (InfraRYL alusel)	10
Tabel 2. Tüüpkatendite kihipaksused erinevatel aluspinnastel (InfraRYL)	12
Tabel 3. Soome maanteenormide nõuded teekatendile	13
Tabel 4. Liiklussageduse (AKÖL 10) ja summaarse koormuse (KKL, miljonit telge) seos	15
Tabel 5. Linnatänavate koormusklasside määrang (KKL).....	15
Tabel 6. Saksa tänavate liigitus ja vastavad koormusklassid.....	16
Tabel 7. Saksa koormusklassid ja vastavad asfalt- ning betoonkatte paksused	17
Tabel 8. Taani teede koormusklassid	19
Tabel 9. Taani tüüpkatendid.....	21
Tabel 10. Eestis kehtivad siirdetegurid (maantee).....	24
Tabel 11. Valgevene siirdetegurid 10-tonnisele normteljele.....	25
Tabel 12. Koormusklassid ja nõutud kandevõime	44
Tabel 13. Konstruktsioonikihtide ehituslikud paksused koormusklassides	46
Tabel 14. Seireobjektide konstruktsiooni võrdlus tüüpkatenditega	49
Tabel 15. Tallinna ristmike liiklussagedused (2013/2014) Signaali seireandmete alusel	59
Tabel 16. Väljavõte Valgevene projekteerimisnormidest - siirdetegurid	60

Lühendite loetelu

TTÜ – Tallinna Tehnikaülikool

MPa – megapaskal, elastsusmooduli, kandevõime ja rehvirõhu mõõtühik; kasutusel ka MN/m²

SRÜ – sõltumatute riikide ühendus

SNiP – Vene ehitusnormid ja reeglid

TKP – Valgevene väljakujunenud praktika tehniline koodeks

ODN – Vene Föderatsiooni harukondlikud teedenormid

PMS Objekt – Rootsi katendite projekteerimistarkvara

MMOPP2013 – Taani katendite projekteerimistarkvara

MODN – SRÜ riikidevahelised teedenormid

BCH – Üleliidulised ehitusnormid

ENSV – Eesti Nõukogude Sotsialistlik Vabariik

AKÖL – aastakeskmise ööpäevane liiklussagedus; tähistuses AKÖL xx viitab numbriline lisand aastatele katendi ekspluatatsioonivõtmisest ehk baasaastast lähtuvalt

KKL – 'kuormituskertaluku' – normkoormuse (10-t telg) läbikute arv katendi eluea jooksul enamkoormatud sõidurajal, taandatud katendi laiust arvestades

AL Engineering – Loadman seadme tootja

RStO – Saksa katendijuhend

Bkxx – Saksa koormusklass, xx väljendab miljonit normtelge katendi tööea jooksul

MUK – mustkillustik

AC surf – kulumiskihi tihe asfaltbetoon

AC bin – vahekihi tihe asfaltbetoon

SMA – killustikmastiksfalt (KMA)

AC base – aluskihi poorne asfalt

E_{v2} – plaatkoormuskatsega määratav staatiline elastsusmoodul

E_d – löök-koormusega määratav dünaamiline elastsusmoodul

Inspector – dünaamilise elastsusmooduli mõõtesead (OÜ Englo toode)

Dynatest – katenditega seotud seadmete ja konsultanditeenustega tegelev Taani firma

Confalt, Densifalt – poolelastsete katendite hüdraulilise sideainesegu kaubamärk (Taani)

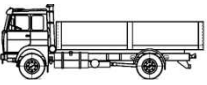
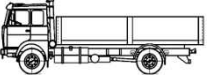
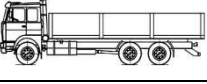
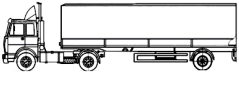
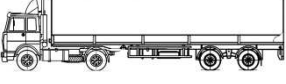
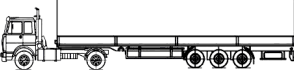
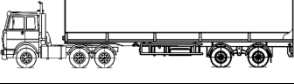
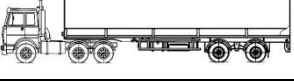
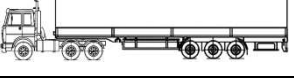
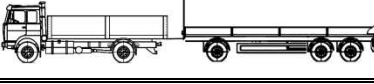
SBS – stüreen-butadieen-stüreen polümeer, kasutatakse bituumeni lisandina

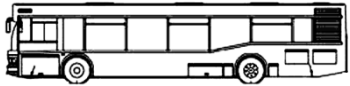
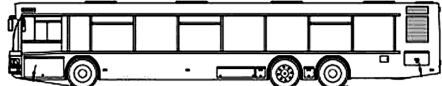
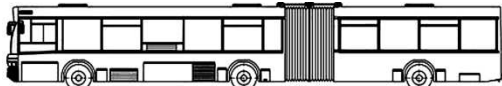
LISAD

Lisa 1. Tallinna ristmike liiklussagedused (2013/2014) Signaali seireandmete alusel

		Sõidua autod			Raskesõidukid			Autod kokku			Raske%
		S1	S2	S kokku	R1	R2	R kokku	A1	A2	A kokku	
R1	Endla rdt	29263	29827	59090	1075	943	2018	30338	30770	61108	3,30%
	Tulika sõle	10848	9969	20817	293	377	670	11141	10346	21487	3,12%
	Endla hipo	11958	13499	25457	367	426	793	12325	13925	26250	3,02%
	Sõprus	14479	14177	28656	649	632	1281	15128	14809	29937	4,28%
	Tulika tax	3818	2894	6712	158	164	322	3976	3058	7034	4,58%
TAKSOPARK		70366	70366	140732	2542	2542	5084	72908	72908	145816	3,49%
R2	Pald sõle	13669	18277	31946	922	1206	2128	14591	19483	34074	6,25%
	Pald õis	19047	17435	36482	960	584	1544	20007	18019	38026	4,06%
	Endla tax	16098	12580	28678	474	537	1011	16572	13117	29689	3,41%
	Mustamäe	12299	12821	25120	870	899	1769	13169	13720	26889	6,58%
HIPODROOM		61113	61113	122226	3226	3226	6452	64339	64339	128678	5,01%
R3	Sõle	14312	15857	30169	631	516	1147	14943	16373	31316	3,66%
	Pald linn	9193	15808	25001	487	792	1279	9680	16600	26280	4,87%
	Tulika	10596	8776	19372	392	237	629	10988	9013	20001	3,14%
	Pald hipo	19209	12869	32078	804	769	1573	20013	13638	33651	4,67%
SÕLE		53310	53310	106620	2314	2314	4628	55624	55624	111248	4,16%
R4	laikmaa N	2876	1573	4449	1035	273	1308	3911	1846	5757	22,72%
	estonia	8062	8934	16996	882	1279	2161	8944	10213	19157	11,28%
	laikmaa R	2056	950	3006	345	431	776	2401	1381	3782	20,52%
	gonsior	7106	8643	15749	796	1075	1871	7902	9718	17620	10,62%
KAUBAMAJA		20100	20100	40200	3058	3058	6116	23158	23158	46316	13,20%
R5	endla teh	19173	0	19173	840	0	840	20013	0	20013	4,20%
	endla kesk	384	10741	11125	570	762	1332	954	11503	12457	10,69%
	s-am Pärnu	9780	8210	17990	79	58	137	9859	8268	18127	0,76%
	s-am Luise	0	10386	10386	0	669	669	0	11055	11055	6,05%
ENDLA-TEHNIKA		29337	29337	58674	1489	1489	2978	30826	30826	61652	4,83%
R9	narva viru	7323	8951	16274	799	572	1371	8122	9523	17645	7,77%
	jõe	12198	5359	17557	169	116	285	12367	5475	17842	1,60%
	pronksi	10833	11082	21915	329	98	427	11162	11180	22342	1,91%
	narva kadri	8518	8006	16524	493	791	1284	9011	8797	17808	7,21%
NARVA-JÕE		38872	33398	72270	1790	1577	3367	40662	34975	75637	4,45%
R15	Pald hipo	20205	333	20538	1045	467	1512	21250	800	22050	6,86%
	teh end	3983	5185	9168	38	174	212	4021	5359	9380	2,26%
	pald k	0	20883	20883	0	1276	1276	0	22159	22159	5,76%
	teh rohu	2213		2213	834	0	834	3047		3047	27,37%
ROHU		26401	26401	52802	1917	1917	3834	28318	28318	56636	6,77%
R31	Sõp Must	12173	14002	26175	642	340	982	12815	14342	27157	3,62%
	Tamm Tondi	17186	13986	31172	742	549	1291	17928	14535	32463	3,98%
	Sõp Kesk	11057	10135	21192	563	636	1199	11620	10771	22391	5,35%
	Tamm Õis	12245	14538	26783	520	942	1462	12765	15480	28245	5,18%
TAMMSAARE-SÕPRUS		52661	52661	105322	2467	2467	4934	55128	55128	110256	4,48%
R33	tamm õis	14127	14697	28824	701	883	1584	14828	15580	30408	5,21%
	ehitaja	4896	5741	10637	319	461	780	5215	6202	11417	6,83%
	tamm must	11604	10189	21793	677	353	1030	12281	10542	22823	4,51%
TAMMSAARE-EHITAJA		30627	30627	61254	1697	1697	3394	32324	32324	64648	5,25%
R29	pärnu kesk	17843	15383	33226	658	572	1230	18501	15955	34456	3,57%
	järvevana	26965	25269	52234	1238	2931	4169	28203	28200	56403	7,39%
	pärnu järve	24705	26555	51260	1138	1159	2297	25843	27714	53557	4,29%
	tammsaare	25209	26187	51396	2656	951	3607	27865	27138	55003	6,56%
PÄRNU SÕLM		94722	93394	188116	5690	5613	11303	100412	99007	199419	5,67%
Ilmajaam		6182	6304	12486	313	309	622	6495	6613	13108	4,75%
				2E+06			104802			2013720	5,20%

Lisa 2. Väljavõte Valgevene projekteerimisnormidest - siirdetegurid

	$K_{пр} (A_1)$	$K_{пр} (A_2)$	$K_{пр} (A_3)$
1 Легковой автомобиль	0,002	0,0015	0,0012
2 Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,002
3 Грузовые автомобили			
3.1 Легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,20	0,10	0,05
3.2 Средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,60	0,30	0,27
3.3 Тяжелые грузовые автомобили			
3.3.1  (задняя ось 10,0 т)	1,00	0,87	0,65
3.3.2  (задняя ось 11,5 т)	1,35	1,00	0,87
3.3.4  (тележка 20,0 т)	3,60	1,60	1,10
4 Автопоезда с полуприцепом			
4.1  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,50	1,50	0,90
4.3  (задняя ось тягача 11,5 т)	3,00	1,90	1,10
4.5  (задняя ось тягача 11,5 т)	7,00	4,10	2,50
4.6  (тележка тягача 18,0 т)	3,00	1,90	1,10
4.7  (тележка тягача 20,0 т)	5,50	3,50	2,20
4.8  (тележка тягача 20,0 т)	7,00	4,00	2,80
5 Автопоезда с прицепом			
5.1  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	2,50	1,20	0,95
5.3  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,50	2,00	1,20

5.5	 (тележка автомобиля 20,0 т)	4,00	2,50	1,70
6 Автобусы				
6.1	 (задняя ось 11,5 т)	1,50	1,00	0,60
6.2	 (средняя ось 11,5 т)	3,76	1,90	1,20
6.3	 (средняя ось 11,5 т)	2,00	1,20	0,80

II RISTMIKE DEFORMATSIOONIDE UURINGU 0-TSÜKLI LASERSKANEERIMINE

1. Sissejuhatus ja lühikokkuvõte

Käesolev aruanne käsitleb Tallinna linna ja lähiümbruse ristmike terrestrilise laserskaneerimise null-tsükliga seonduvaid töid. Mõõdistatud ristmikud (5) olid järgnevad:

- Ehitajate tee ja Õismäe tee (Haabersti ringi poolne) ristmik – Tallinn, Haabersti LO
- Tartu mnt ja Kanali tee ristmik – Tallinn, Kesklinna LO
- Ranna tee ja Muuli tee ristmik – Viimsi vald, Miiduranna küla
- Tehnika tänava ja Veskiposti tänava ristmik – Tallinn, Kesklinna LO
- Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse (linnast väljuva suuna) ümbrus – Tallinn, Nõmme LO

Nendest esimesed kaks on nn. „suured ristmikud“, kus teekatendi uuringud ulatuvad ristmikust mõlemasse 100 m, viimased 3 aga nn. „väikesed ristmikud“, kus teekandi uurimine piirdub ristmikust 30...40 meetrini mõlemasse suunda.

Mõõdistamisele kuulusid värselt remonditud ristmikud. Uuringute üldeesmärgiks oli katendi esialgse asendi punktipilvena koordineerimine uuritavatel ristmikel, et järgnevate kordusmõõtmistega hinnata deformatsioonide (näit. pikirööbaste) teket, suurust ja ulatust.

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 kõrgussüsteemiga²³, 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 juulis ja septembris 2014, kõrgtäpne nivelleerimine juulis ja septembris 2014. Terrestrilise laserskaneerimise eesmärgiks oli ristmike jäädvustamine punktipilvena.

8. juuli 2014 varastel hommikutundidel mõõdistati Ranna tee, Tartu mnt, Tehnika tn ja Männiku tee ristmikud (joonis 1). Ehitajate tee ristmik mõõdistati 18. septembri hilisõhtul (joonis 1).

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



Joonis 1. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku (vasakul) ning Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku (paremal) terrestriline laserskaneerimine

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 lahutus 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. Tehnoloogia juurutamisega seondub ka Euroopa Liidu struktuurivahendite programmi "Keskkonnakaitse ja -tehnoloogia teadus- ja arendustegevus (KESTA)" projekt ERMAS (Elurikkuse, mulla ja maapõue andmesüsteemide geoinformaatiline arendus, projekt AR12052).

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 – invarlatti).

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, Taavi Ermel, Jaanus Metsar, Simo Rebane ja Martti Putnik. Mõõtmisandmete töötlus viidi läbi 3D punktipilve töötlustarkvaraga Leica Cyclone 8.0 Kalev Julge poolt.

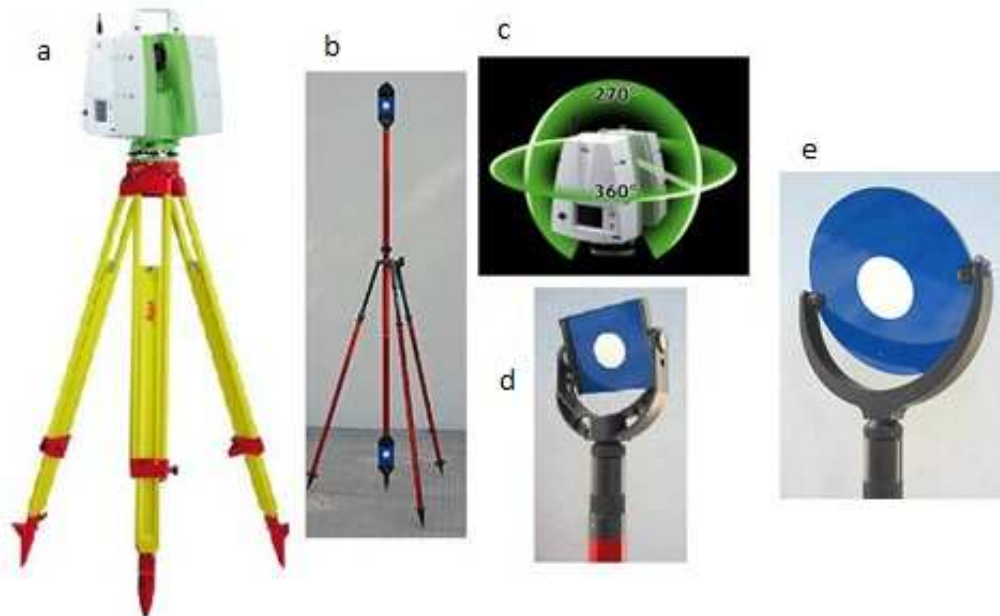
2. Kasutatud instrumendid ja töövahendid

2.1. Leica ScanStation C10 terrestriline laserskanner

Mõõtmine sooritati terrestrilise laserskanneriga (TLS) Leica ScanStation C10 (joonis 2a). Kasutatud instrumendi peamised tehnilised spetsifikatsioonid on järgnevad:

- Skaneerimise ulatus alates 0.5-300 m (90% peegeldumiskoefitsiendiga pinnalt)
- Skaneerimise tööpiirkond horisontaalsuunaliselt 360 kraadi, vertikaalsuunaliselt vähemalt 270 kraadi (joonis 2c)
- Skaneerimise sagedus vähemalt 50000 Hz (50 000 punkti sekundis)
- Lasertäpi läbimõõt mitte suurem kui 7 mm 50 m kaugusel
- Individuaalse skaneerimispunkti kauguse täpsus 4 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Individuaalse punkti 3D asukoha määramise täpsus 6 mm vähemalt 50 m kaugusel
- Punktipilve statistiline modelleerimistäpsus 2 mm
- Kaheteljelise 2" täpsusega kompensaatori 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 17 x 17 kraadi. Kaamera on kaugusmõõtjaga ko-aksiaalne.
- Tähiste mõõtmistäpsus 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. Andmetöötamiseks kasutati peamiselt tarkvarapaketti Cyclone.



Joonis 2. 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 vette sukeldamist kuni 1 minut

- 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). Mõõdistusalale lähim püsijaam asub Nõmmel, umbes 14 km kaugusel. 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 VRSNow 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 igas bussipeatuses 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 mõõtmine ca' ± 2 cm
- Väikseim mõõtühik:
 - 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 mõõtettsüklites) 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 liiklussuunal 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.

Naaberpunktide ühendamiseks (aga ka võrdlemaks järgnevate mõõdistussükklite 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 6-10). 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 mõõtmistsükklite 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.

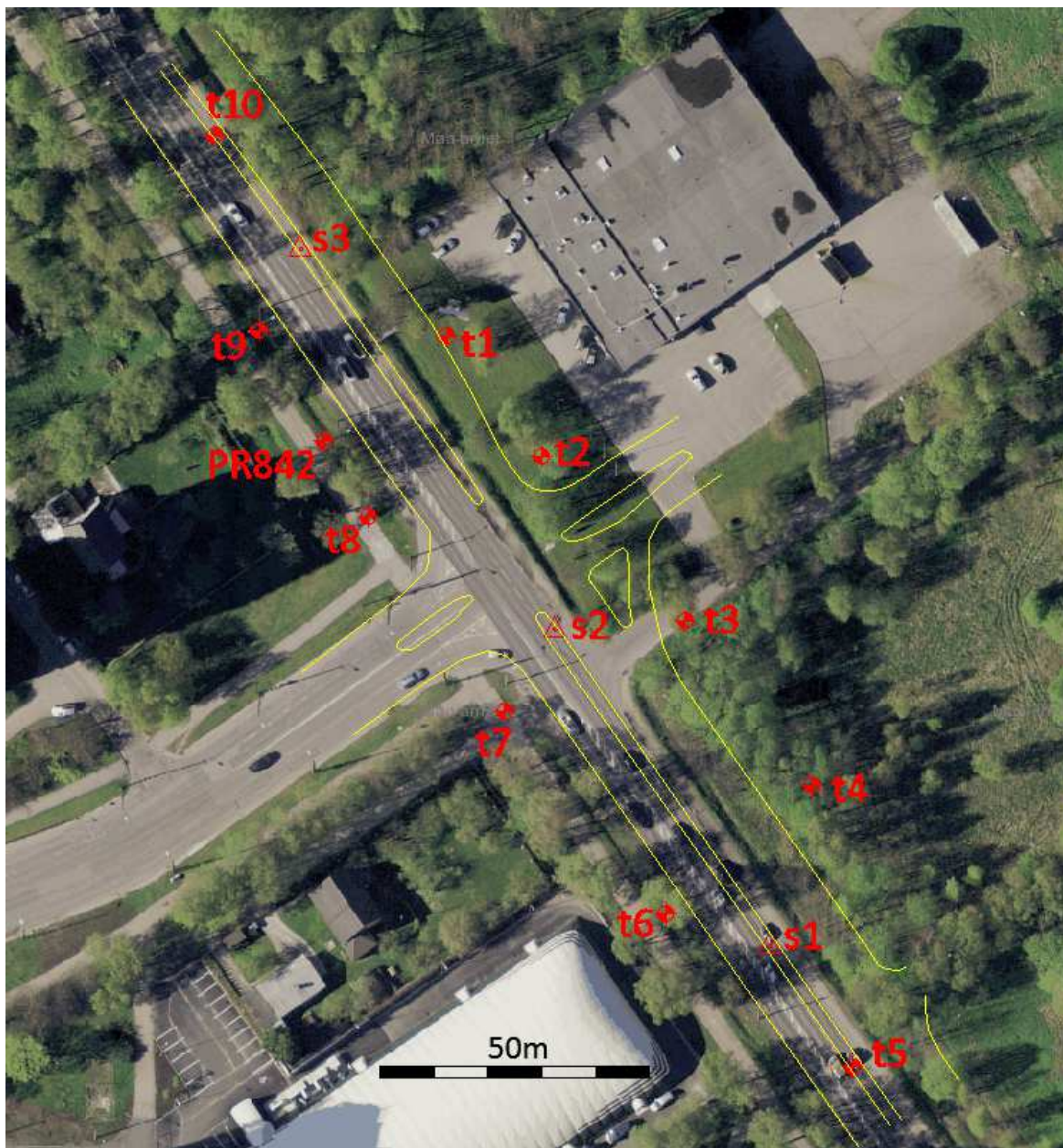
Et ruumiandmete kõrguslik täpsus on antud töö puhul ülioluline, siis kirjeldatakse detailsemalt kõrgtäpse nivelleerimise käiguna (edasi-tagasi) rajamisel järgitud põhimõtteid lisas 11.

3.1. Mõõdistamine Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmikul

Tallinnas Haabersti LO-s paiknev Ehitajate tee ja Õismäe tee (Haabersti ringi poolne) ristmik skaneeriti 18. septembri 2014 hilisõhtul peale fooride välja lülitamist. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisas 1.

Mõõtmine sooritati kolmest jaamast (s1, s2, s3), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 80 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Ehitajate tee põhisuundadel u. 100 meetri ulatuses ristmikust.

Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 9. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 1.



Joonis 9. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on s1 ja s2. Tahhümeeter tsentreeriti punktile s2 ja orienteerimiseks kasutati punkti s1. Ortofoto on tehtud enne ristmiku ümberehitust. Kollaste joontega on peale kantud tee kontuurid peale ümberehitust. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 1. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Absoluutkõrgused BK77
	E	N	H
t1	536871.990	6587245.758	10.836
t2	536889.542	6587223.438	10.439
t3	536916.165	6587192.983	10.072
t4	536939.693	6587162.467	10.035
t5	536947.241	6587110.305	11.032
t6	536912.542	6587138.668	10.753
t7	536882.721	6587176.159	10.270
t8	536857.433	6587212.231	10.102
t9	536837.226	6587246.711	10.380
t10	536828.991	6587282.853	10.898
s1	536931.956	6587132.675	10.988
s2	536892.130	6587191.350	10.511
s3	536844.995	6587261.813	11.087
PR842	536849.224	6587226.255	9.771

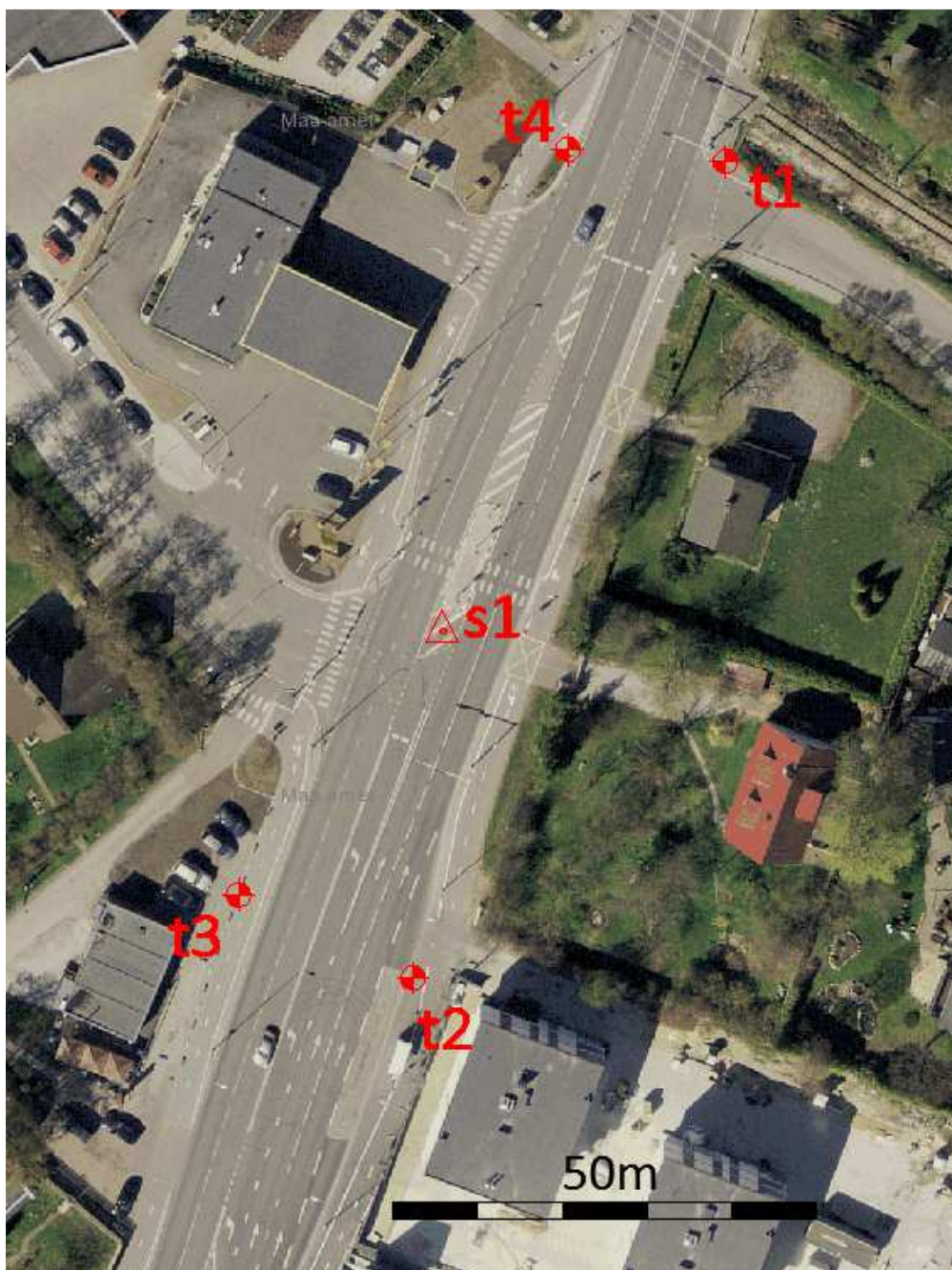
Möödistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit PR842 (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku, tabelis 1 esitatud kõrgusväärtus pärineb Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasist, seisuga 25.09.2014).

3.2. Möödistamine Ranna tee ja Muuli tee ristmikul

Viimsi vallas Miiduranna külas paiknev Ranna tee ja Muuli tee ristmik skaneeriti 8. juuli 2014 varajastel hommikutundidel enne liikluse intensiivistumist. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisas 2.

Möötmise sooritati ühest jaamast (s1), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Möödistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 75 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Ranna tee põhisuundadel u. 40-50 meetri ulatuses ristmikust.

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



Joonis 10. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t3 ja t4. Tahhümeeter tsentreeriti punktile t4 (ühtlasi ka polügonomeetriapunkt PP10830) ja orienteerimiseks kasutati punkti t3. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 2. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Absoluutkõrgused BK77
	E	N	H
t1	546984.786	6595897.508	21.245
t2	546947.809	6595800.902	18.612
t3	546927.145	6595810.722	18.611
t4*	546966.136	6595898.891	20.807
s1	546951.383	6595841.913	19.639

* Ühtlasi ka PP10830

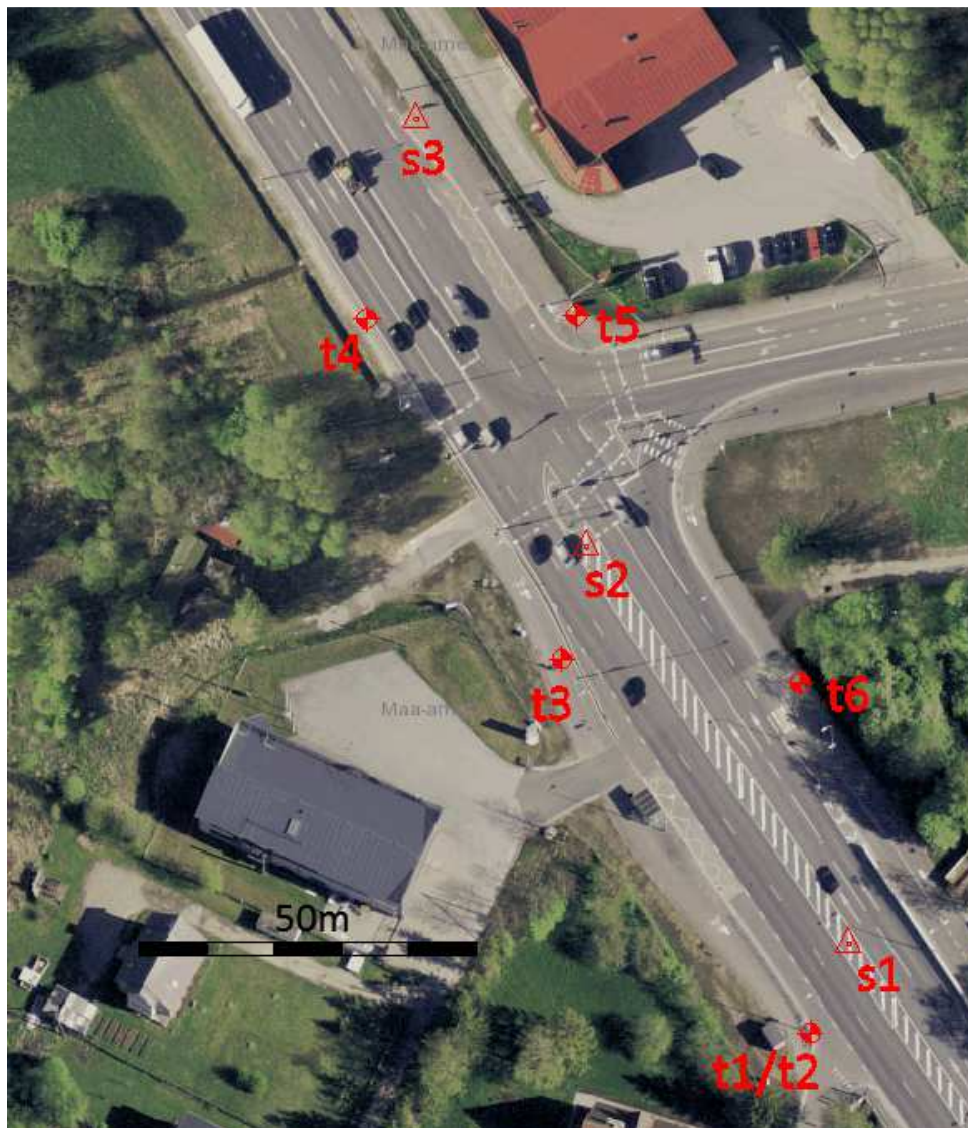
Mõõdistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena polügonomeetriapunkti PP10830 (tabelis 2 esitatud t4/PP10830 kõrgusväärtus pärineb Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasist, seisuga 25.09.2014).

3.3. Mõõdistamine Tartu mnt ja Kanali tee ristmikul

Tallinnas Kesklinna LO-s paiknev Tartu mnt ja Kanali tee ristmik skaneeriti 8. juuli 2014 varajastel hommikutundidel enne liikluse intensiivistumist. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisas 3.

Mõõtmise sooritati kolmest jaamast (s1, s2, s3), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 75 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Tartu mnt põhisuundadel u. 100 meetri ulatuses ristmikust.

Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 11. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 3.



Joonis 11. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t3 ja t1/t2. Tahhümeeter tsentreeriti punktile t3 ja orienteerimiseks kasutati punkti t1/t2. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 3. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Absoluutkõrgused BK77
	E	N	H
t1/t2	545838.319	6585757.211	38.007
t3	545801.404	6585812.776	38.113
t4	545772.387	6585863.333	38.391
t5	545803.556	6585863.873	38.504
t6	545836.796	6585809.372	38.019
s1	545844.014	6585770.495	38.021
s2	545805.030	6585829.472	38.304
s3	545779.728	6585893.060	38.469

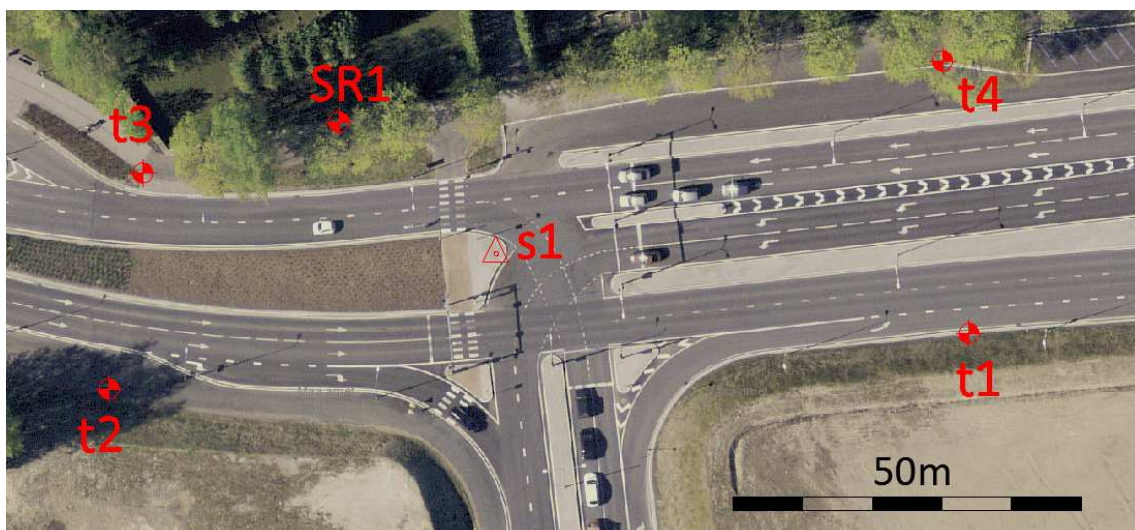
Möödistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit SR8164 (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku), vt ka lisa 8.

3.4. Möödistamine Tehnika tänava ja Veskiposti tänava ristmikul

Tallinnas Kesklinna LO-s paiknev Tehnika tänava ja Veskiposti tänava ristmik skaneeriti 8. juuli 2014 varajastel hommikutundidel enne liikluse intensiivistumist. Tehnika tänava ja Veskiposti tänava ristmiku laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisa 4.

Möötmise sooritati ühest jaamast (s1), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Möödistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 75 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Tehnika tänava põhisuundadel u. 40-50 meetri ulatuses ristmikust. Edasiste möötmiste hõlbustamiseks paiguti läheduses paikneva Kaitseväge kalmistu müüri tänavapoolsele küljele ajutine reeper (tähistus SR1).

Jaama, tähiste ja ajutise reeperi paiknemise skeem on toodud joonisel 12. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 4.



Joonis 12. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t1 ja t2. Tahhümeeter tsentreeriti punktile t2 ja orienteerimiseks kasutati punkti t1. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 4. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

	Ristkoordinaadid L-EST97		Absoluutkõrgused BK77
Nr	E	N	H
t1	543529.198	6587244.595	29.073
t2	543405.532	6587236.603	27.843
t3	543410.380	6587267.621	27.039
t4	543525.414	6587283.711	29.570
s1	543461.208	6587256.059	28.283

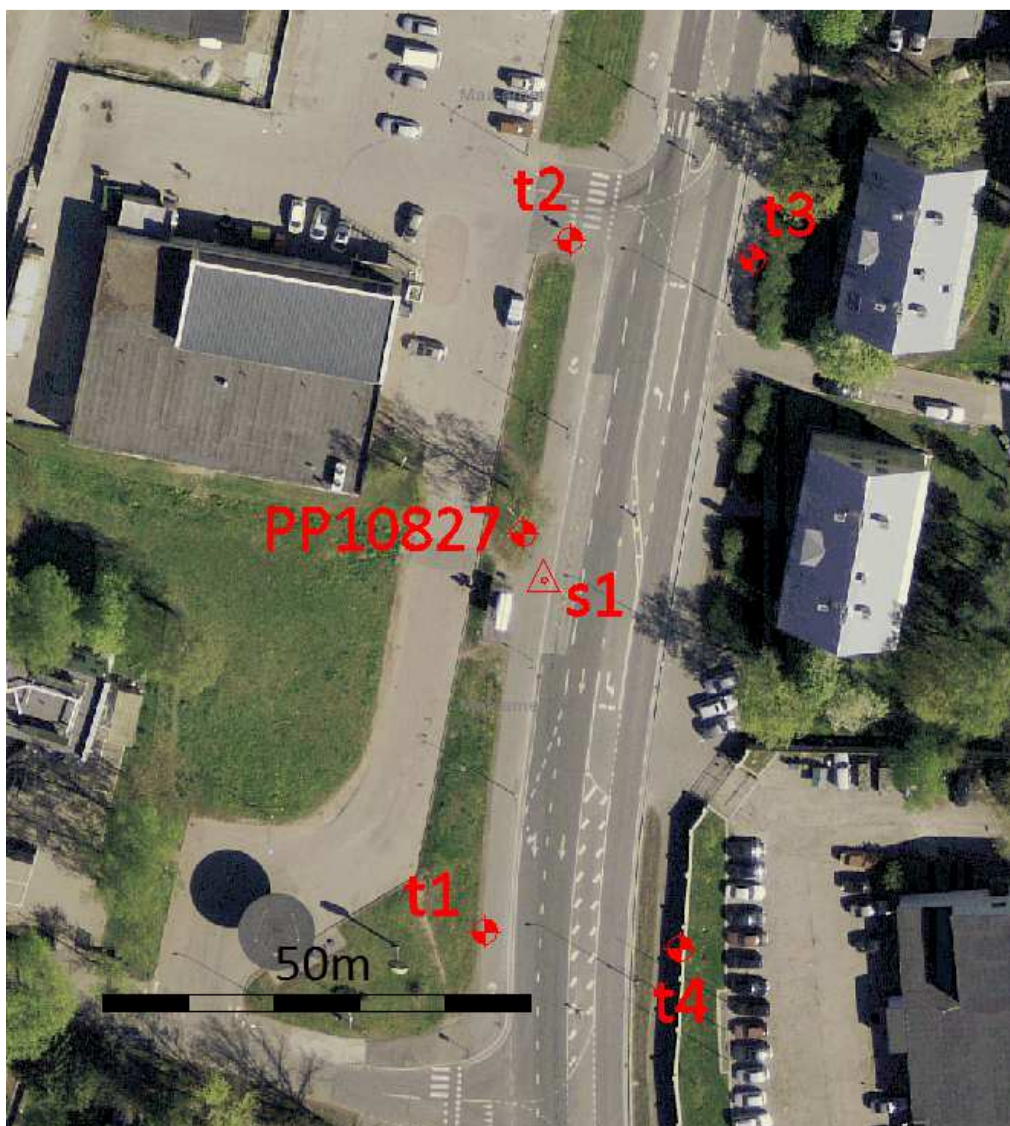
Mõõdistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit SR nr-ta(333) (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku), vt ka lisa 9.

3.5. Mõõdistamine Männiku teel

Tallinnas Nõmme LO-s Männiku teel paiknev „Kauge“ bussipeatuse ümbrus skaneeriti 8. juuli 2014 varajastel hommikutundidel enne liikluse intensiivistumist. Männiku tee laserskaneerimise ja saavutatud tulemuste pildimaterjal on toodud lisa 5.

Mõõtmise sooritati ühest jaamast (s1), mille asukoht märgistati asfaldinaelaga. Mõõdistuspunktide ruumiliseks lahutuseks seadistati 75 meetri kaugusel 5 cm horisontaal- ja 5 cm vertikaalsuunas. Eeltoodud tagab nõutud ruumilise lahutuse ristmiku Tartu mnt põhisuundadel u. 40-50 meetri ulatuses.

Jaama ja tähiste paiknemise skeem on toodud joonisel 13. Kindelpunktide ja jaama koordinaadid on toodud tabelis 5.



Joonis 13. Männiku laserskaneerimise jaamade ja tähiste paiknemise skeem. Kolmnurgad – TLS jaamade asukoht, ringid – kindelpunktid. GNSS baasjoone otspunktid on t1 ja PP10827. Tahhümeeter tsentreeriti punktile PP10827 ja orienteerimiseks kasutati punkti t1. (Ortofoto: Maa-ameti geoportaal)

Tabel 5. Männiku tee ristmiku kindelpunktide ja jaamade koordinaatide ja kõrguste tabel

Nr	Ristkoordinaadid L-EST97		Absoluutkõrgused BK77
	E	N	H
t1	540766.183	6581714.965	41.393
t2	540776.170	6581796.000	40.669
t3	540797.578	6581793.728	41.06
t4	540789.047	6581712.982	41.335
s1	540773.169	6581756.108	41.177
PP10827	540770.666	6581761.619	40.716

Mõõdistuse sidumiseks L-EST97 plaanilise koordinaatsüsteemiga kasutati GNSS seadmega mõõdetud baaspunkte. Kõrgussüsteemi BK77 absoluutkõrguste määramiseks kasutati lähtena reeperit SR2552 (kuulub Tallinna 1. klassi nivelleerimisvõrku), vt ka lisa 10.

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 8.0. 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.

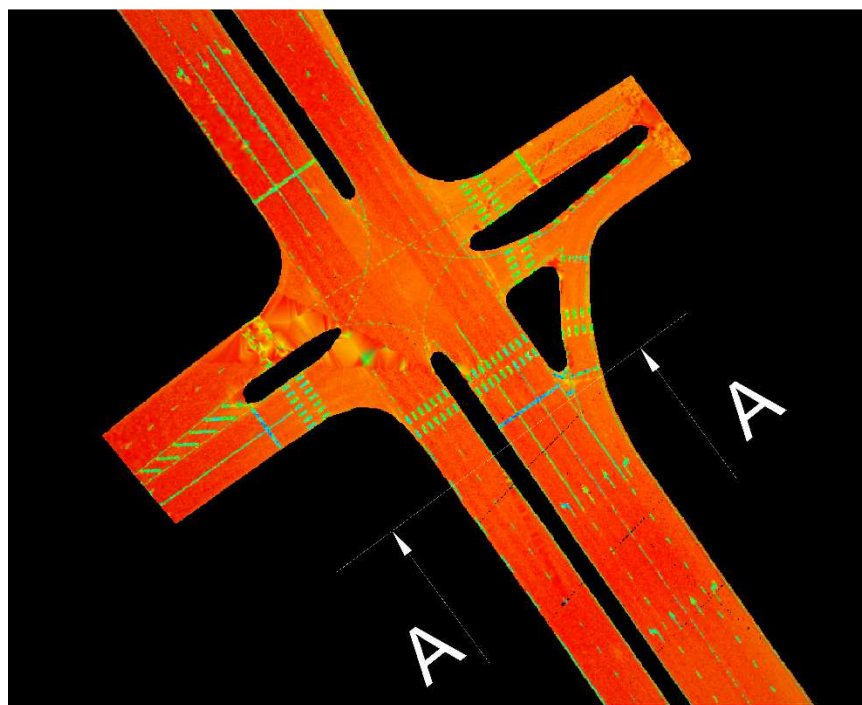
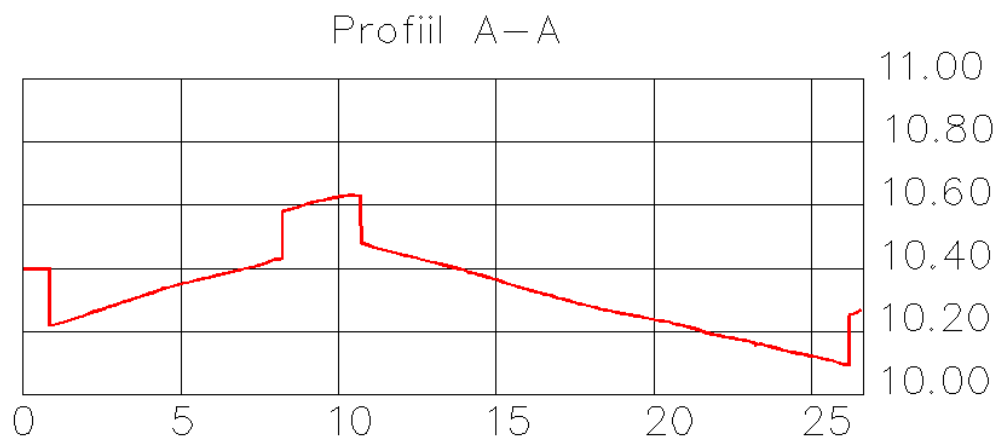
Seejärel puhastati punktipilv ebavajalikest punktidest (möödistusalast väljapoole jäävad punktid, liikuvatest autodest ja inimestest peegeldunud punktid). Tellijale üleandmiseks hõrendati punktipilve keskmise ruumilise lahutuse 5 cm ja 10 cm ja salvestati ASCII formaati. ASCII formaat sisaldab punktide 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...5. Andmetöötluse statistika ja veahinnangud on toodud lisades 6-10. Tabelis 6 on toodud mõõdetud punktide arvud ja registreerimise veahinnangud.

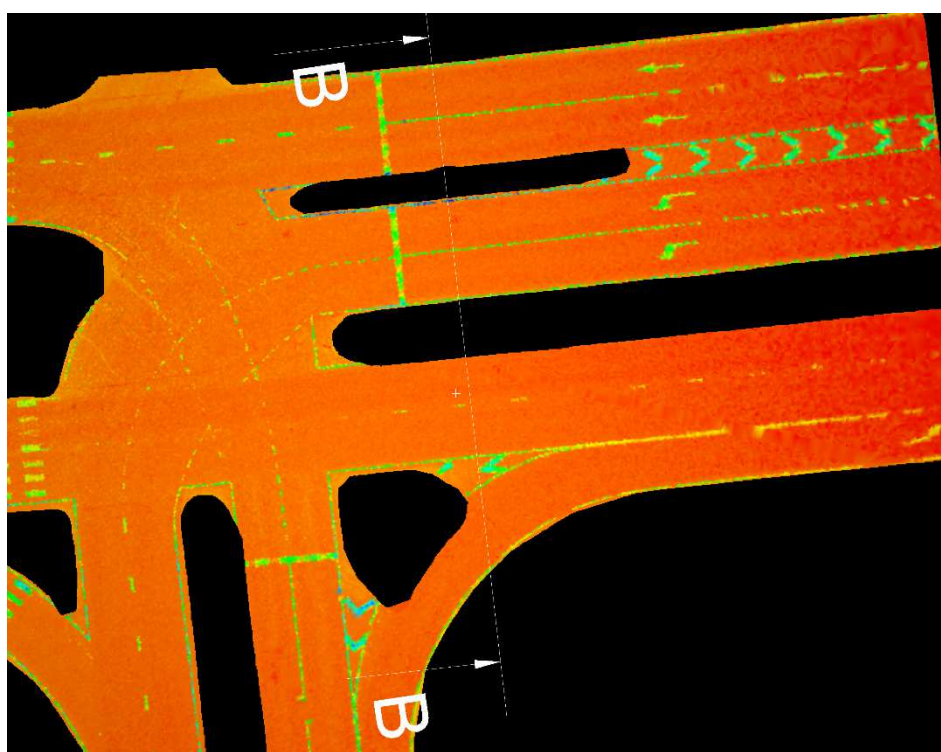
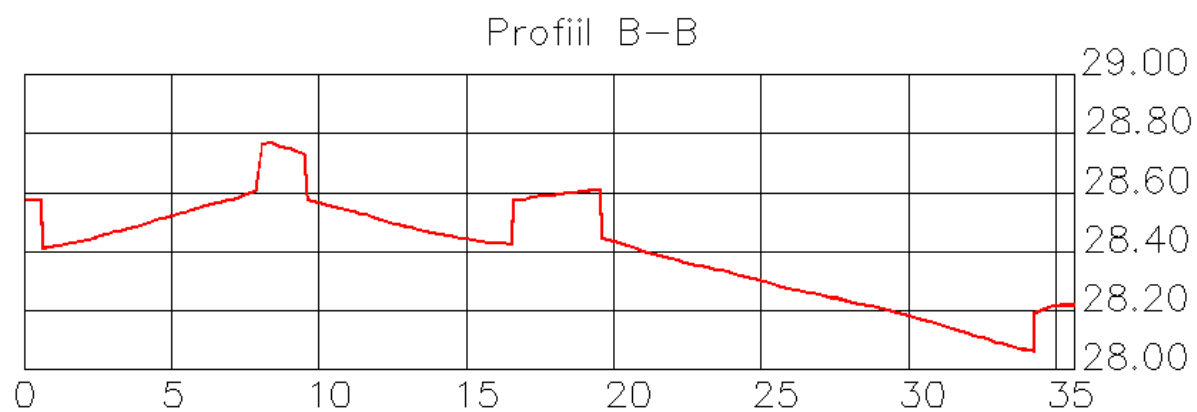
Tabel 6. Skaneerimispunktide arvud ja registreerimise veahinnangud

Objekt	Skaneerimis- punktide arv	Registreerimise veahinnang	
		Keskmine viga (mm)	Max. viga (mm)
Ehitajate tee	47 759 607	4	7
Ranna tee	13 283 106	6	14
Tartu mnt	39 268 923	4	6
Tehnika tn	13 382 228	4	4
Männiku tee	14 374 900	6	10

Moodustati ka kaks näiteprofiil Ehitajate tee (joonis 14) ja Tehnika tänava (joonis 15) ristsuunas kogu tee laiuses. Sarnased ristprofiilid koostatakse järgnevatest mõõdistustsüklitest ilmnevates suurimate deformatsioonidega asukohtades. Antud näiteprofiilidel on järjestikuste profiilipunktide vahe maksimaalselt 5 cm. Edaspidistes võrdlustes kohaldatakse järjestikustele profiilipunktile vajalikku vahemikku, et kõige paremini visualiseerida tekkivate rööbaste asukohta ja sügavust.



Joonis 14. Ristprofiil Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmikul. Ülal ristprofiil (vertikaalmõõtkava on 10-kordse suurendusega), all profiili asukoht.



Joonis 15. Ristprofiil Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmikul. Ülal ristprofiil (vertikaalmõõtkava on 10-kordse suurendusega), all profiili asukoht.

5. Üleantavad materjalid

Tellijale edastatakse:

- Tööde teostamise aruanne, mis sisaldab tööde teostamise kirjeldust ja saavutatud tulemuste täpsushinnanguid.
 - Punktipilved hõrendatuna keskmise ruumilise lahutusega 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_Ehitajatetee_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Ehitajatetee_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Ehitajatetee.xml
 - Ristmik_Tartumnt_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Tartumnt_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Tartumnt.xml
 - Ristmik_Rannatee_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Rannatee_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Rannatee.xml
 - Ristmik_Tehnikatn_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Tehnikatn_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Tehnikatn.xml
 - Ristmik_Mannikutee_hore_5cm.txt
 - Ristmik_Mannikutee_hore_10cm.txt
 - Ristmik_Mannikutee.xml

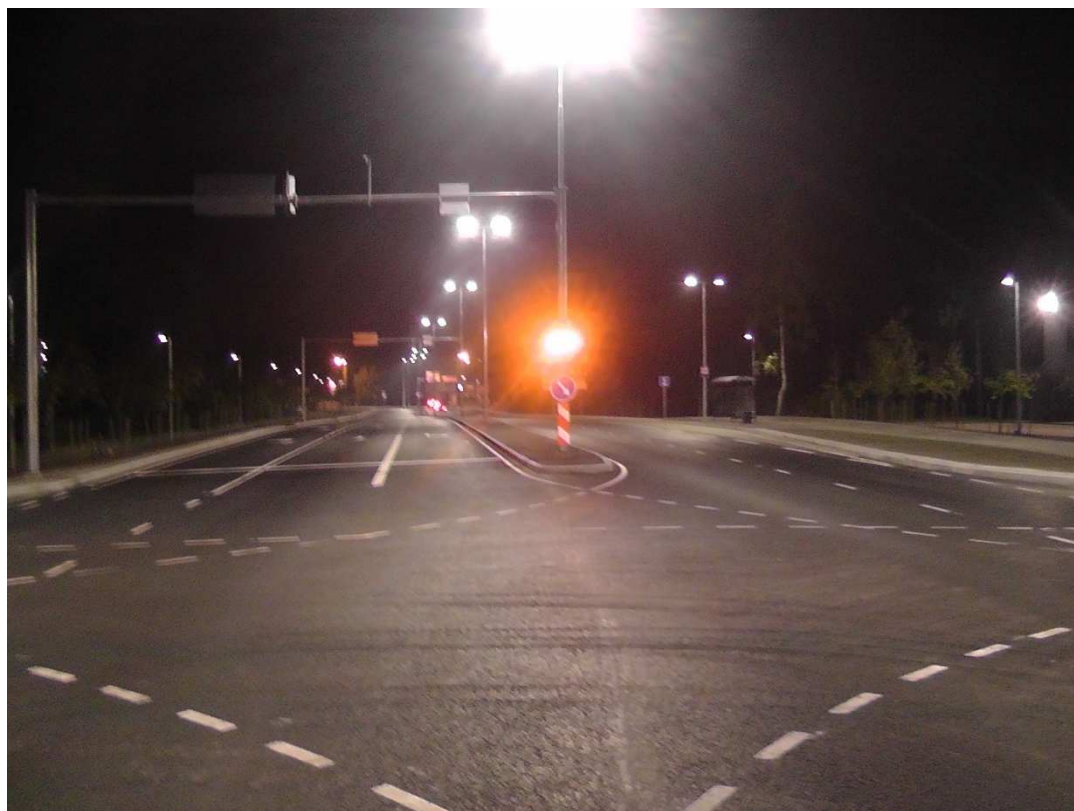
Mõõdistusandmed säilitatakse süstematiseerituna TTÜ teedeinstituudi geodeesia õppetooli arvutites, osapooltel võimaldatakse nende ligipääs.

Mõõtmiste tsükkel	Mõõtmiste aeg	Toorandmete failinimetus	Faili suurus
0 tsükkel	September 2014	Ehitajatetee_S14	2120 MB
	Juuli 2014	Rannatee_S14	637 MB
	Juuli 2014	Tartumnt_S14	2330 MB
	Juuli 2014	Tehnikatn_S14	637 MB
	Juuli 2014	Mannikutee_S14	666 MB
1 tsükkel	täpsustub		...

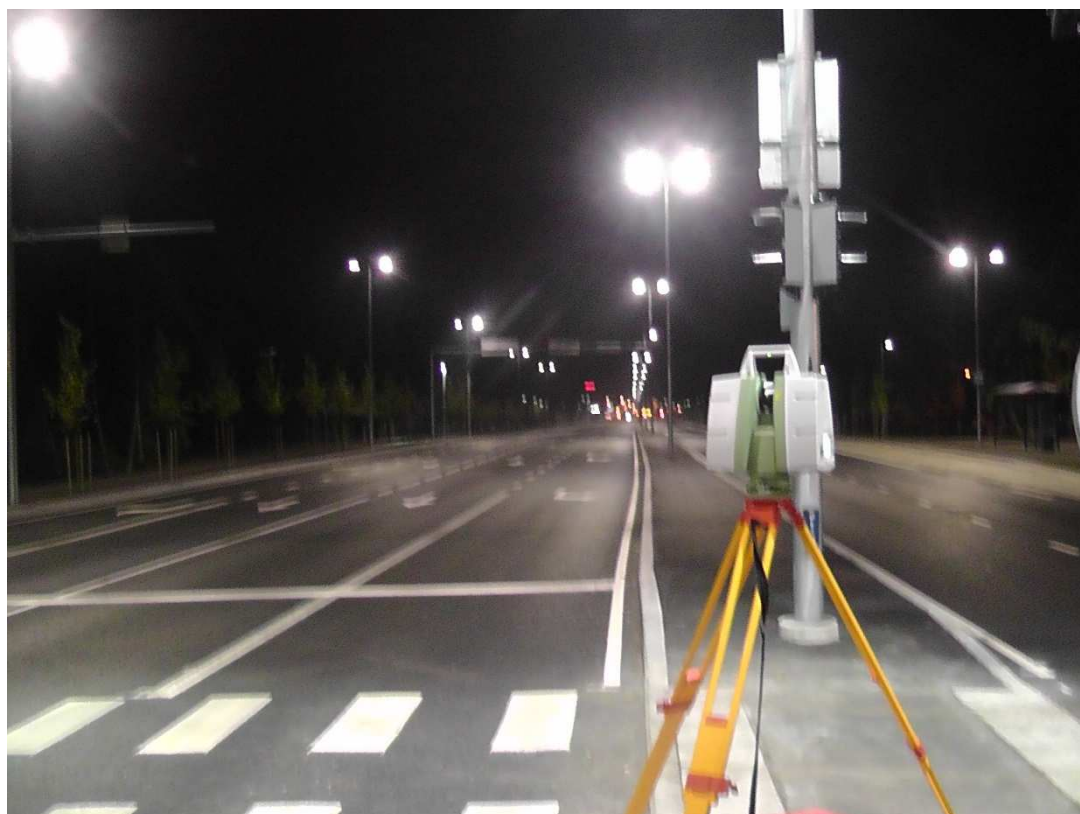
LISAD

Lisa 1. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku pildimaterjal

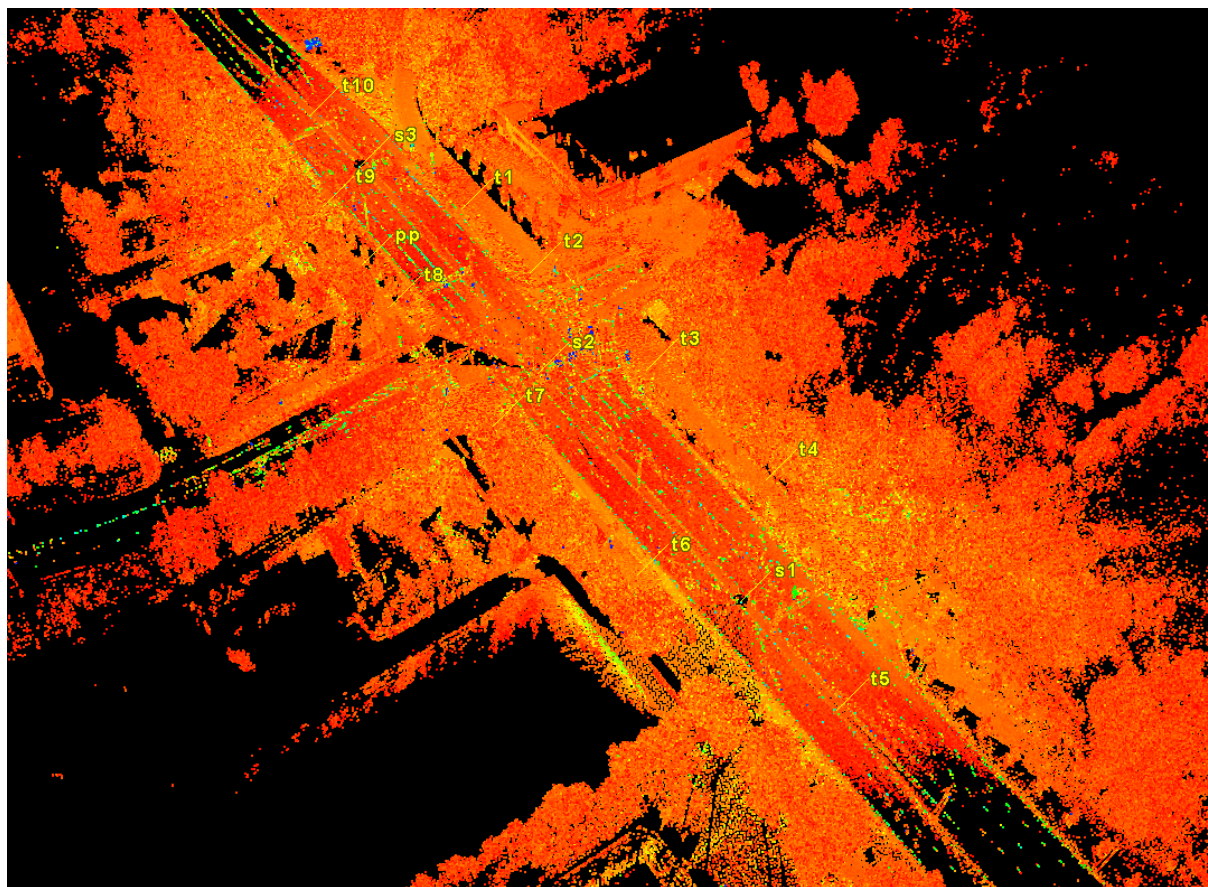
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmik– vaade Haabersti ringi poole.



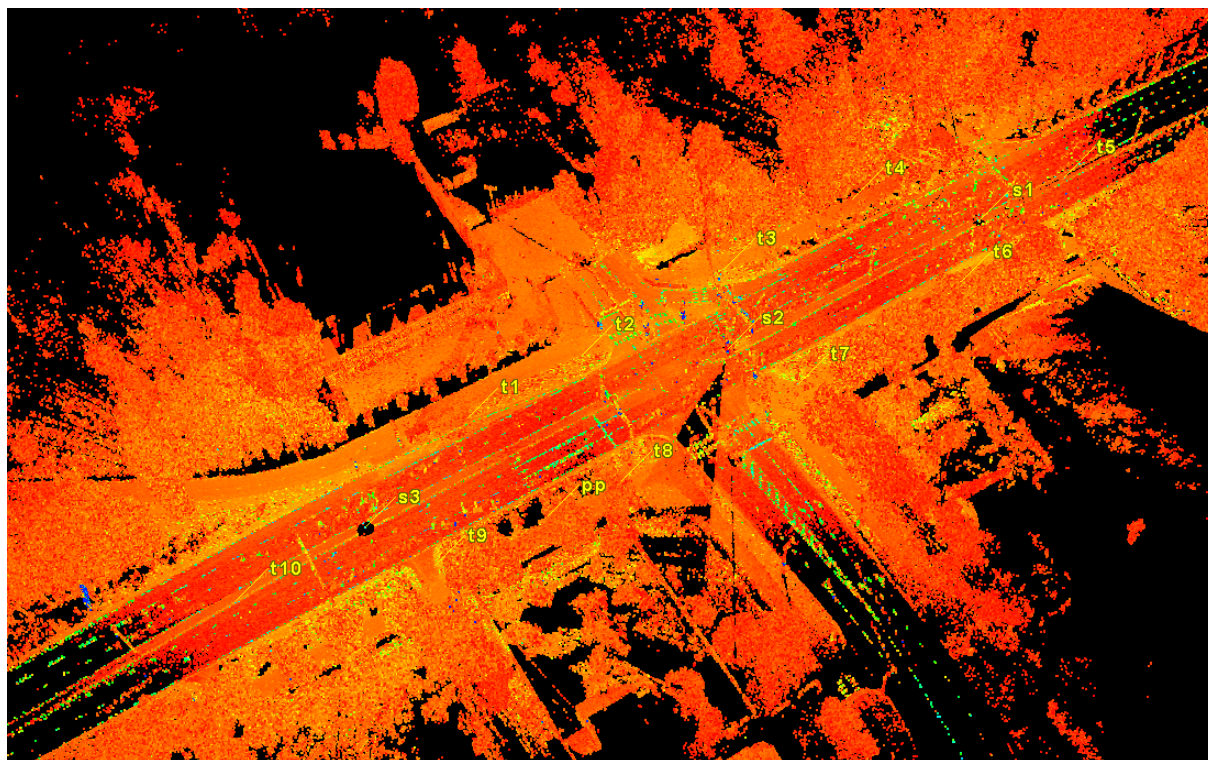
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmik– vaade Mustamäe poole.



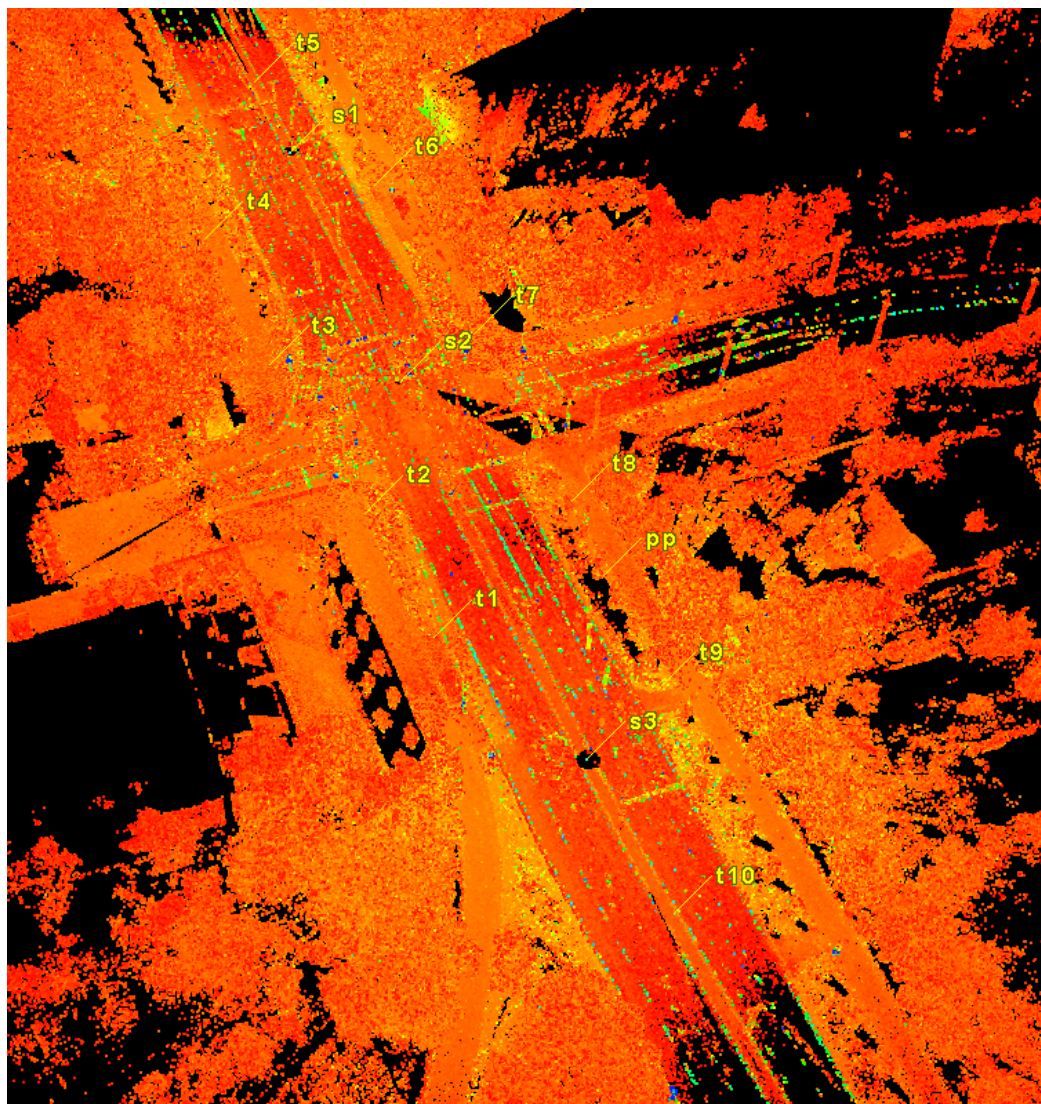
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade lõunast.



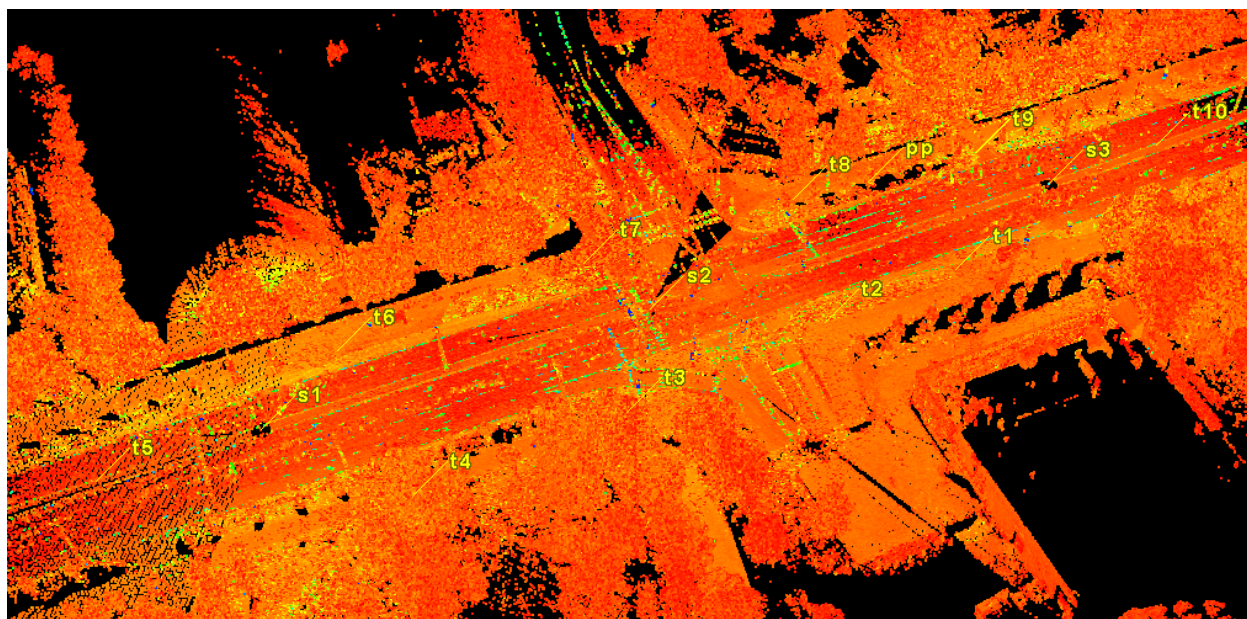
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade läänest.



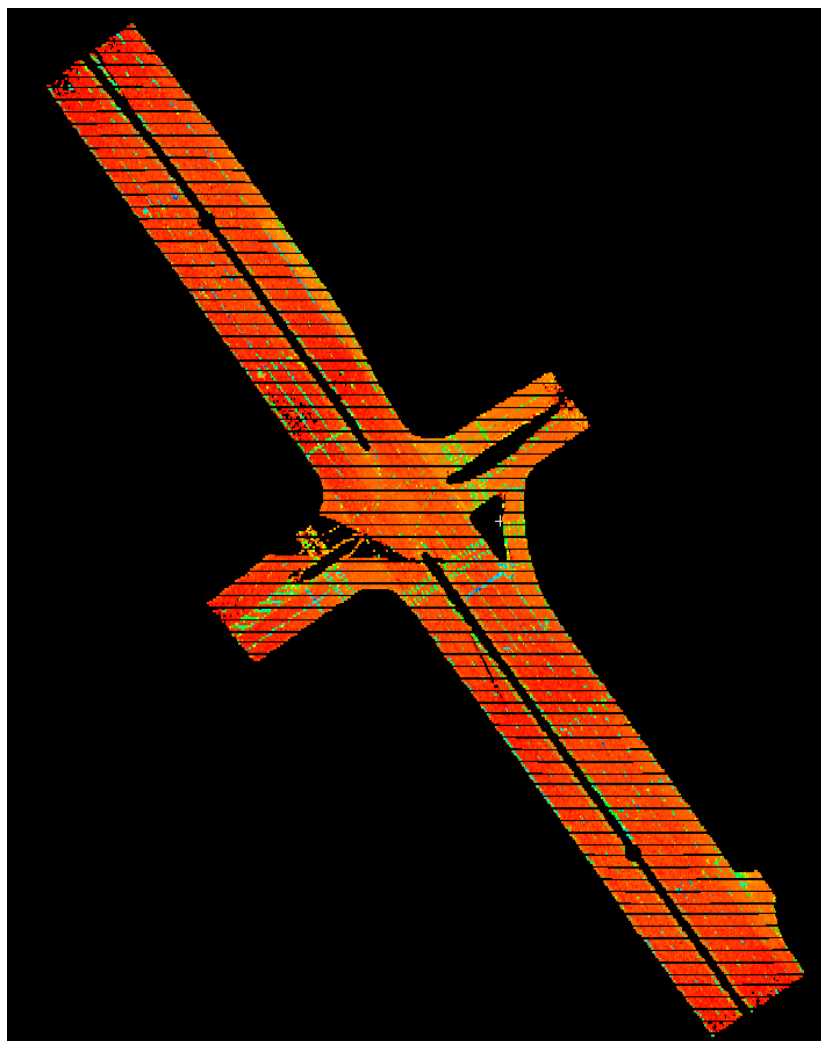
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade põhjast.



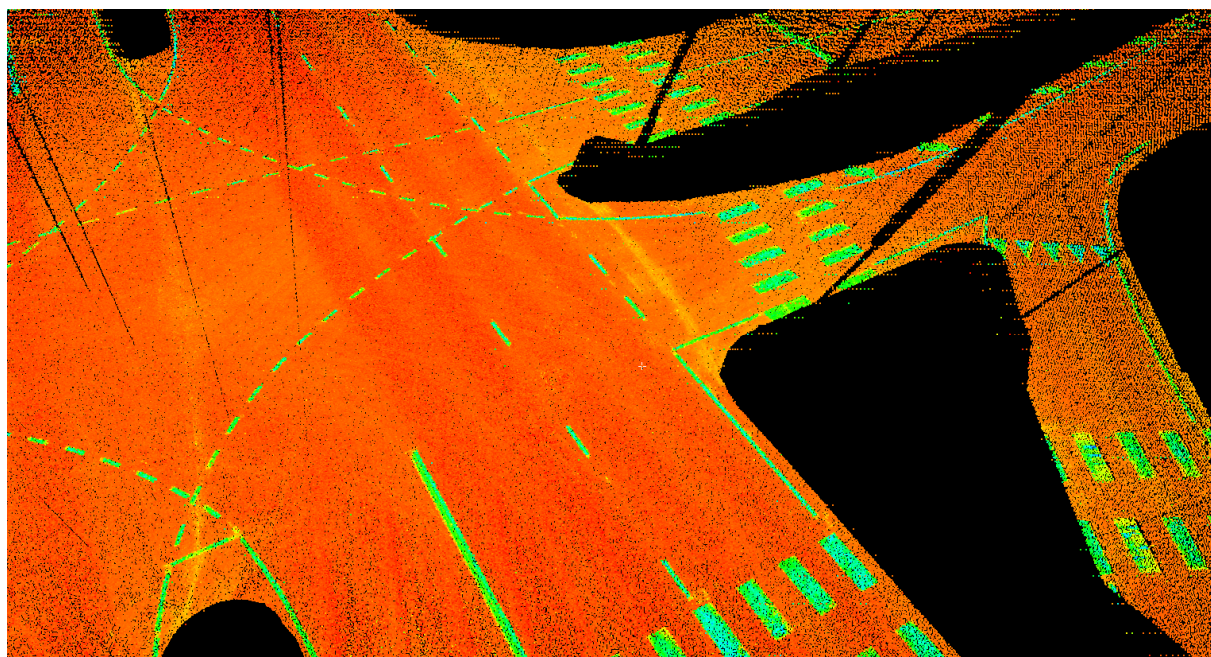
Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku punkt pilv – vaade idast.



Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku puhastatud punktipilv – pealtvaates.

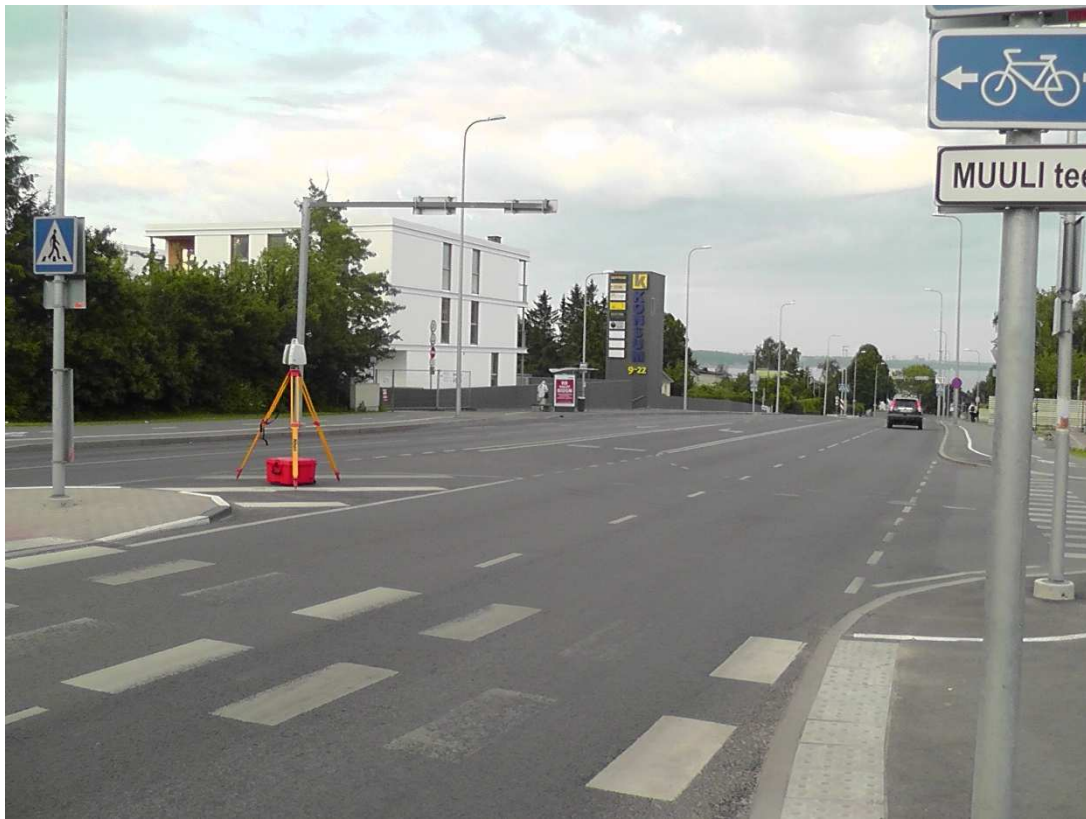


Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku puhastatud punktipilve fragment – vaade lõunast.



Lisa 2. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku pildimaterjal

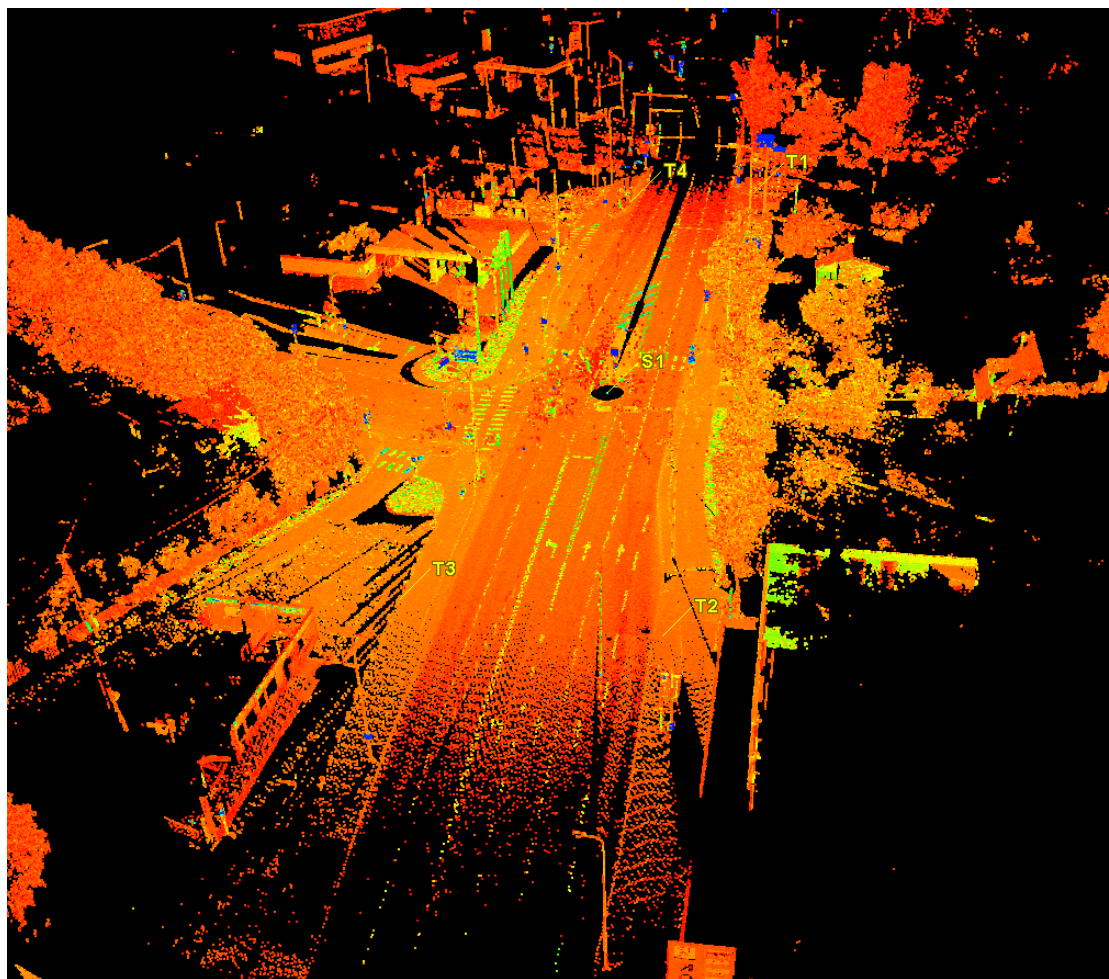
Ranna tee ja Muuli tee ristmik– vaade Tallinna poole.



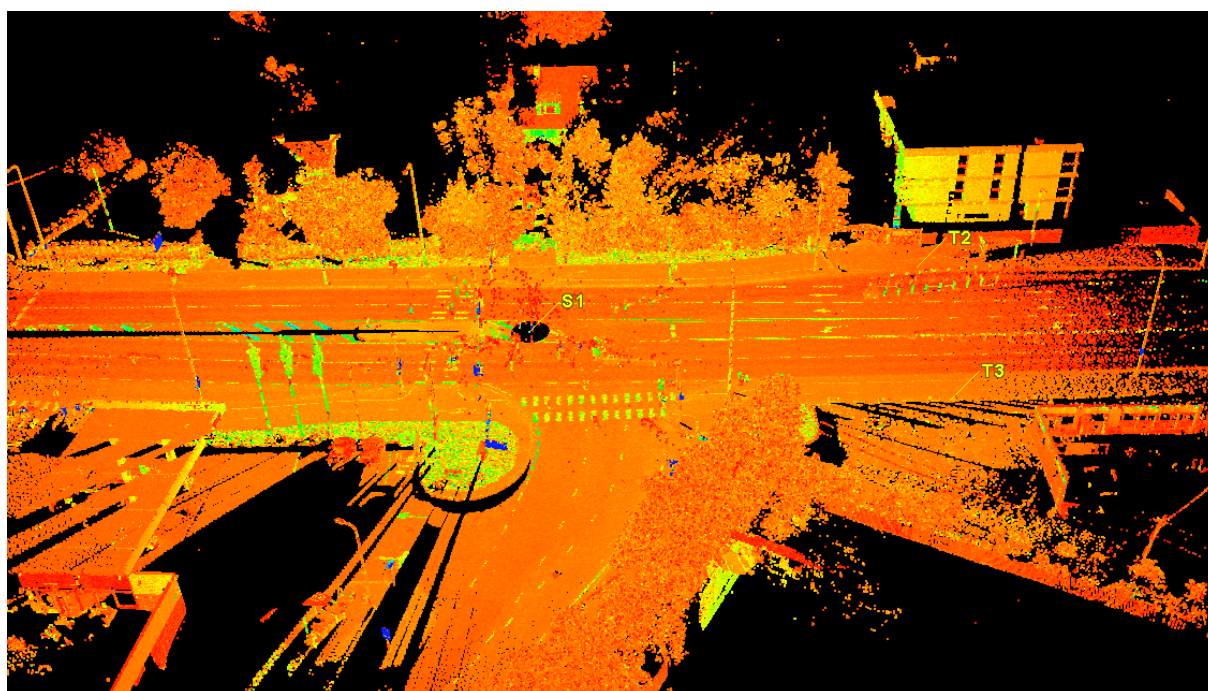
Ranna tee ja Muuli tee ristmik– vaade Viimsi poole.



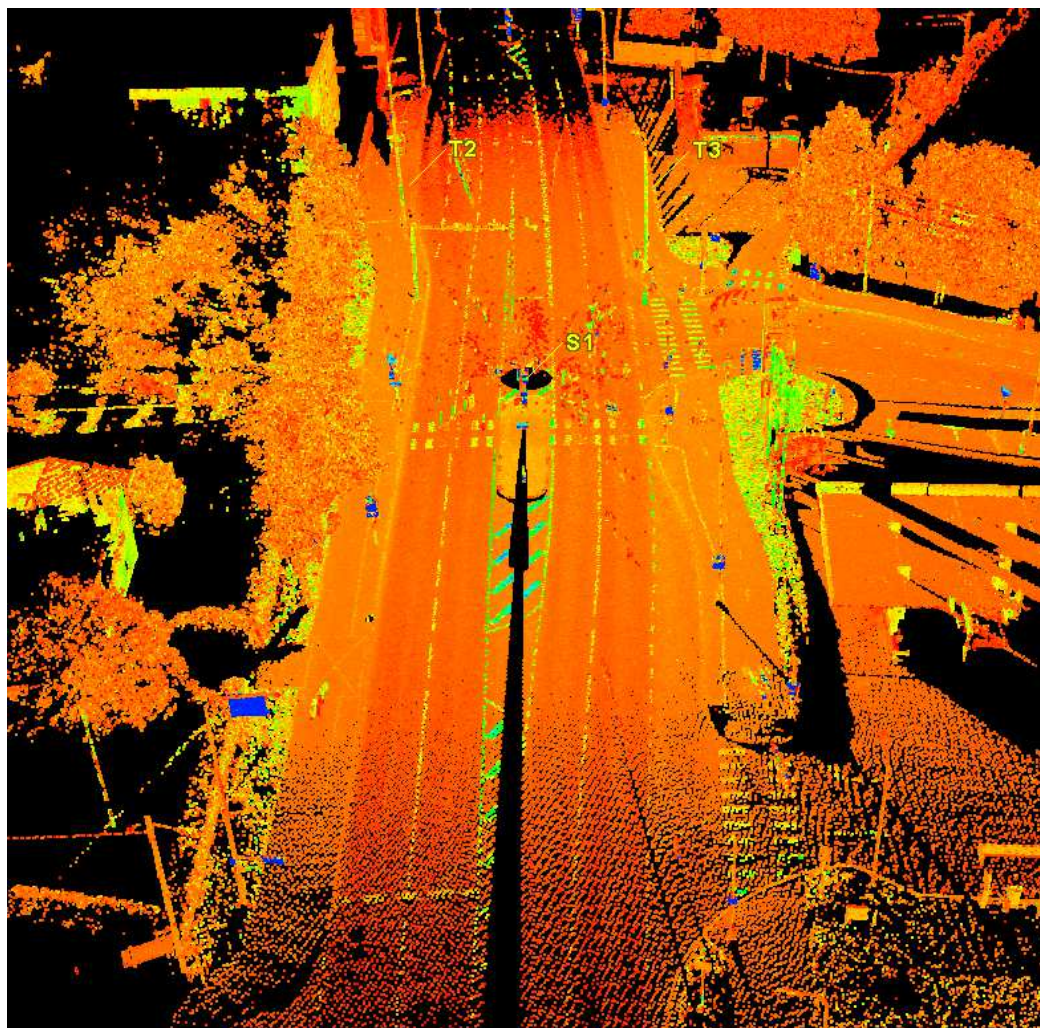
Ranna tee ja Muuli tee ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade lõunast.



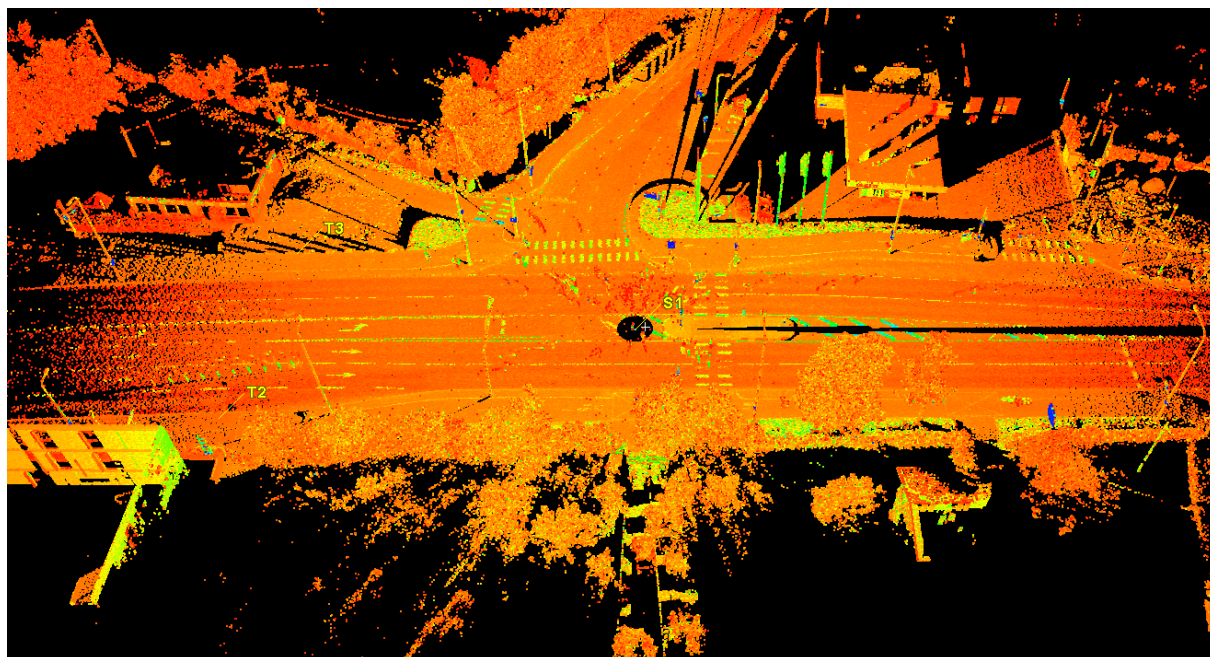
Ranna tee ja Muuli tee ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade läänest.



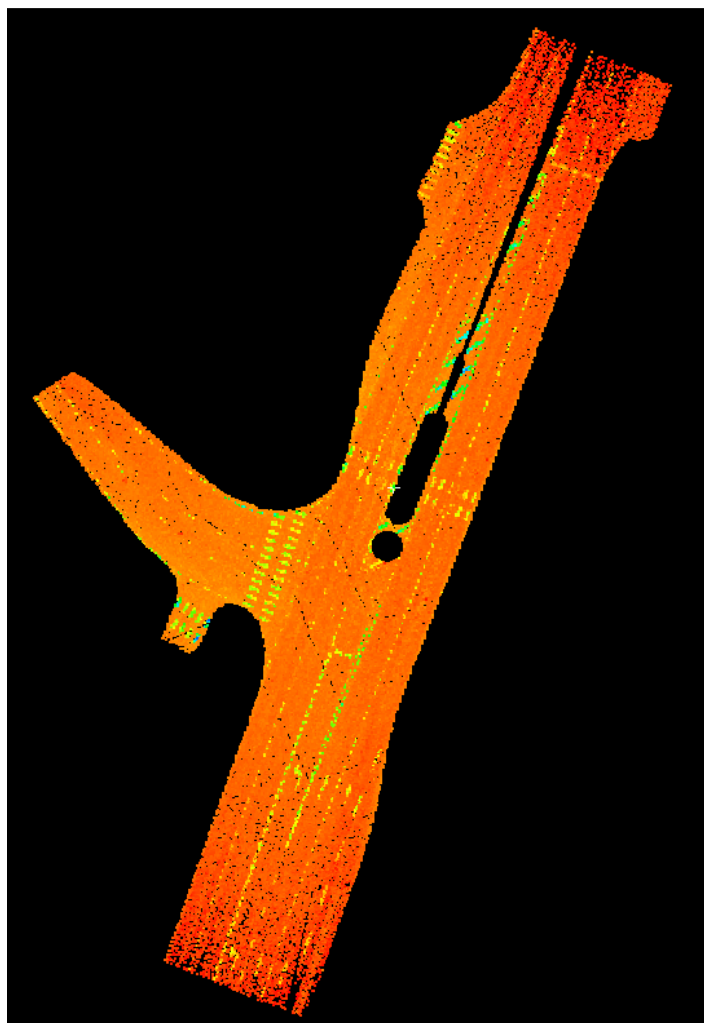
Ranna tee ja Muuli tee ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade põhjast.



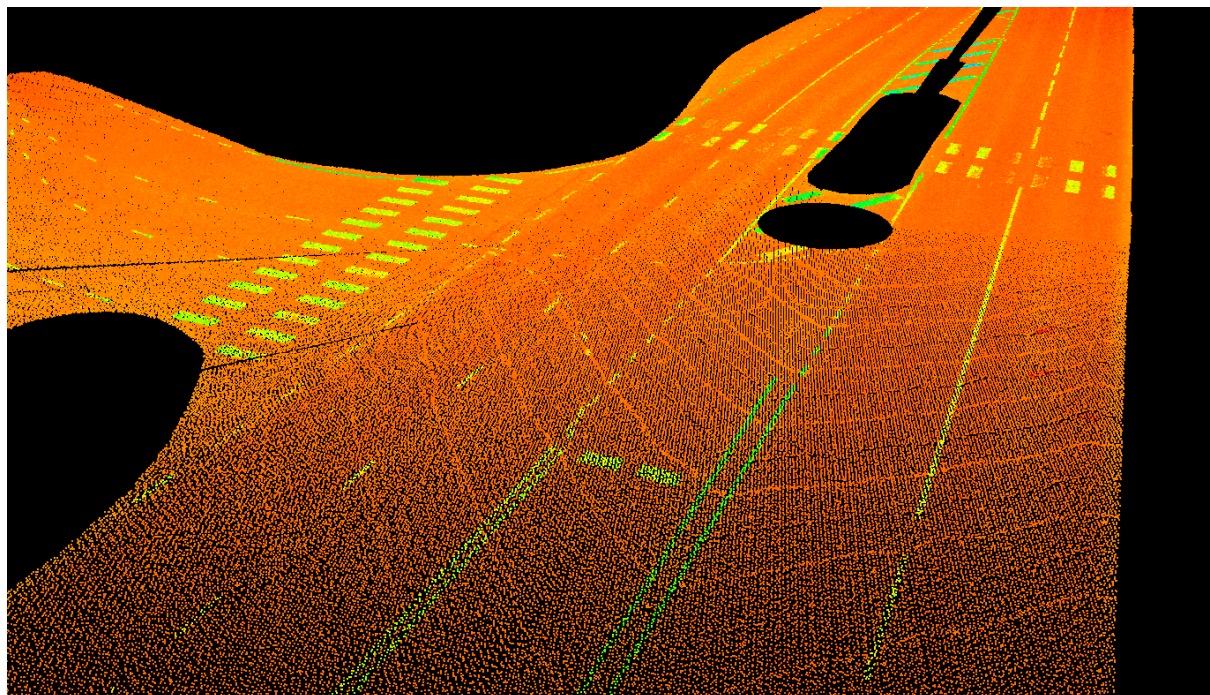
Ranna tee ja Muuli tee ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade idast.



Ranna tee ja Muuli tee ristmiku puhastatud punktipilv – pealtvaates.



Ranna tee ja Muuli tee ristmiku puhastatud punktipilve fragment – vaade lõunast.

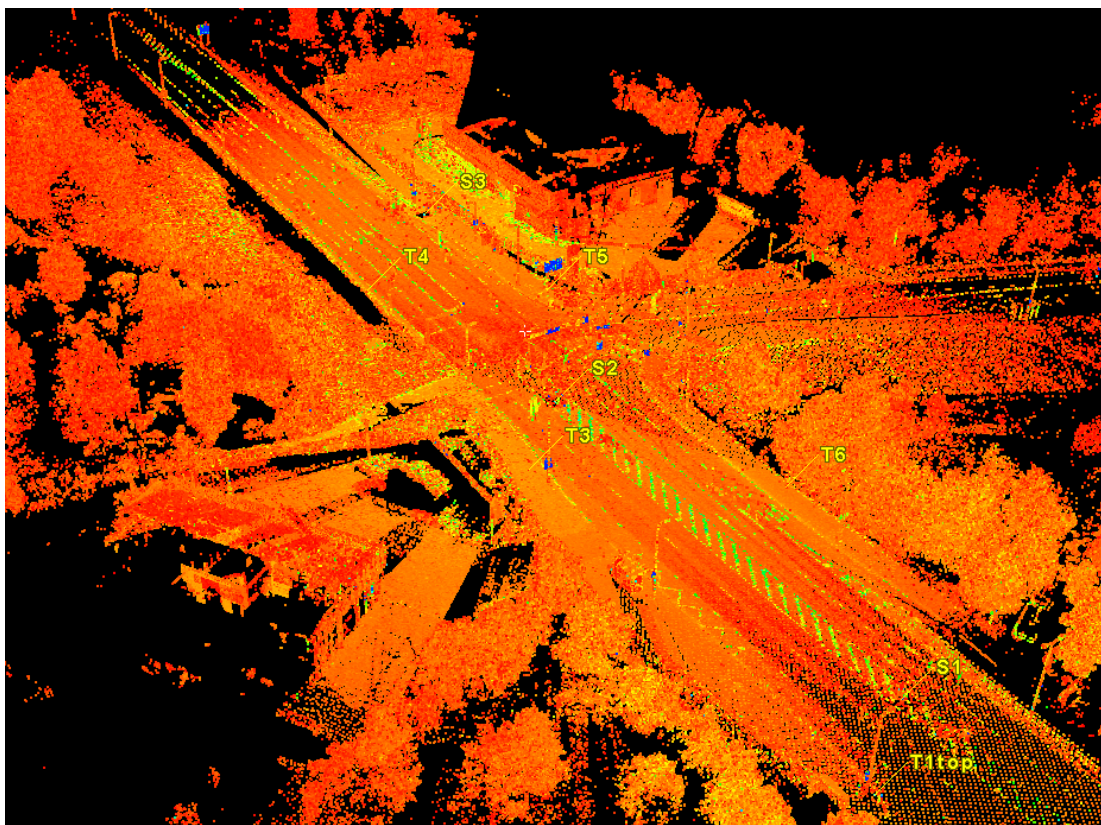


Lisa 3. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku pildimaterjal

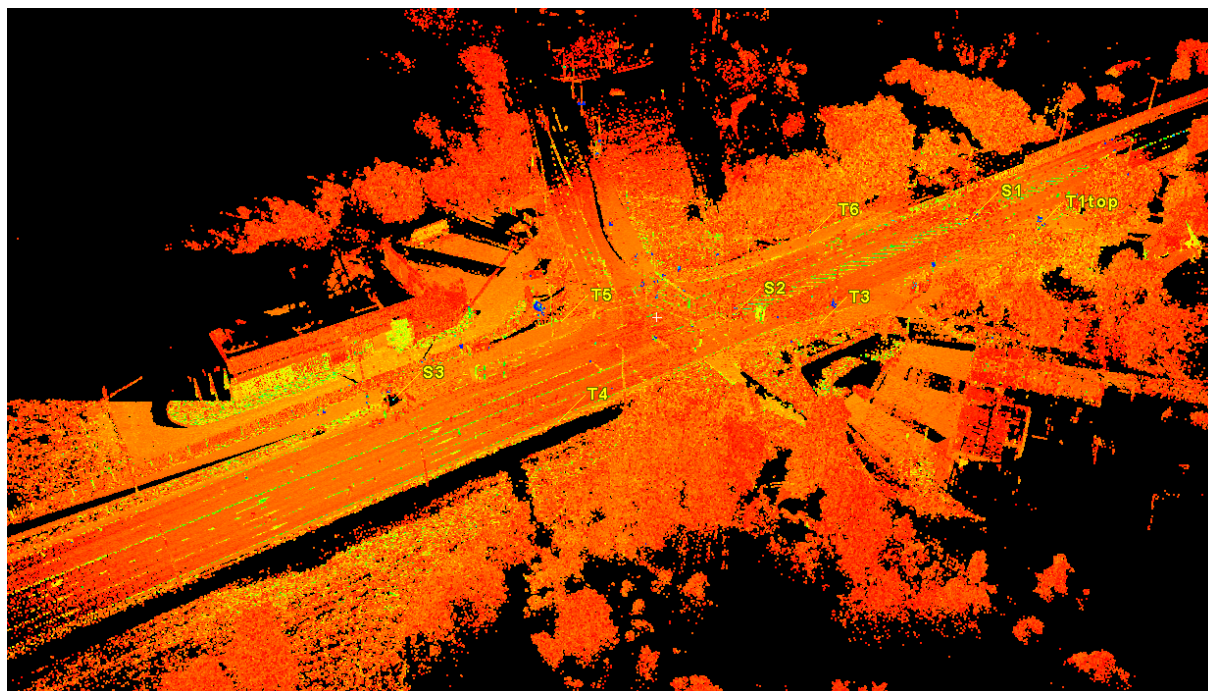
Tartu mnt ja Kanali tee ristmik– vaade lõunast.



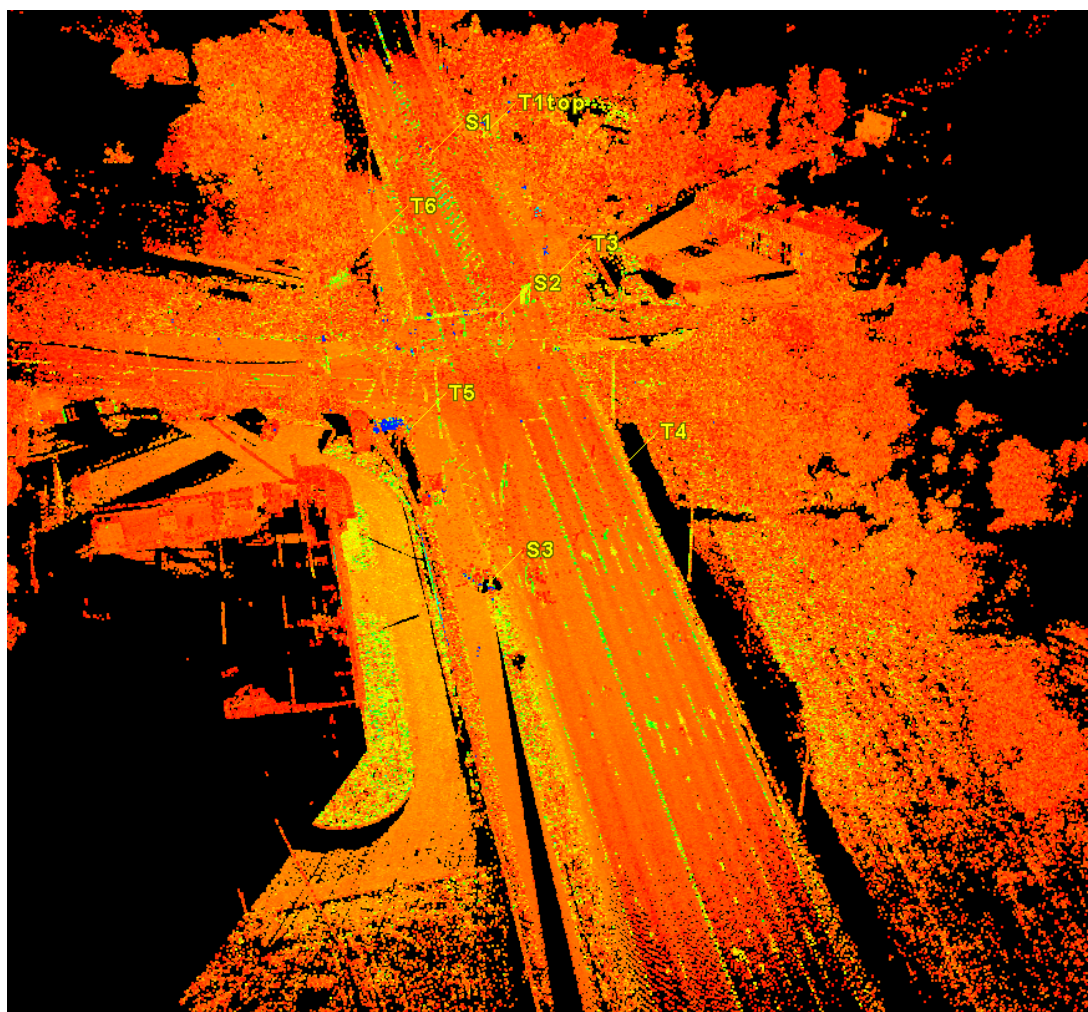
Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade lõunast.



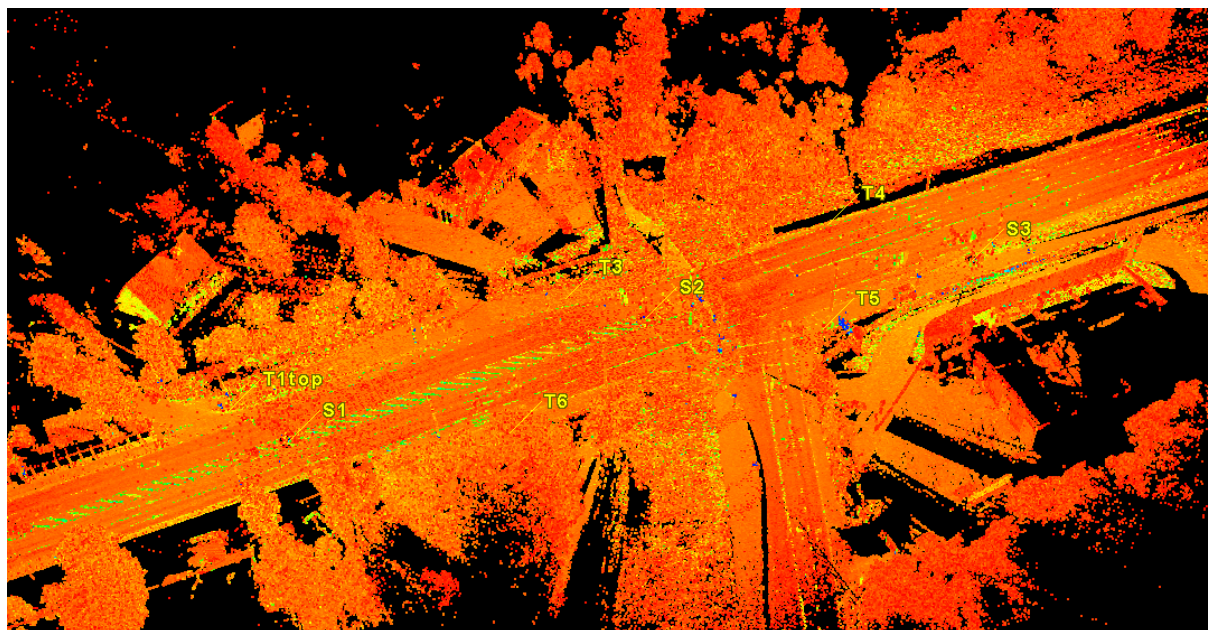
Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade läänest.



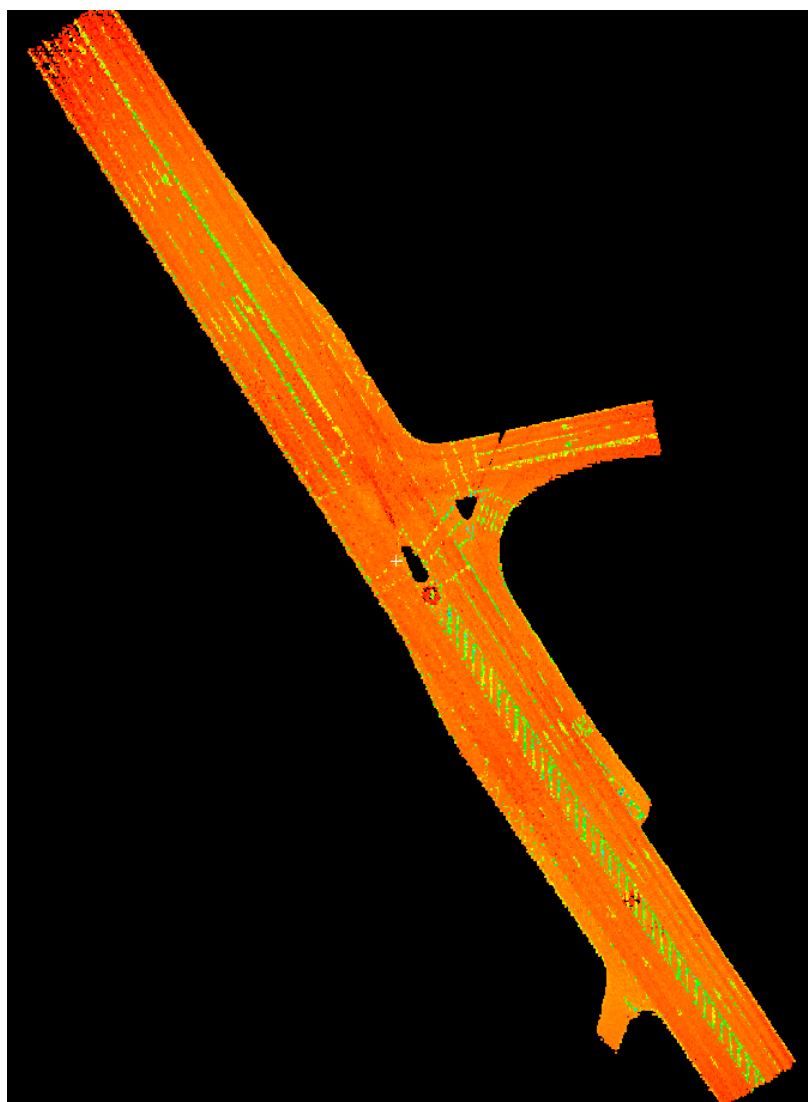
Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku punkt pilv (toorandmed) – vaade põhjast.



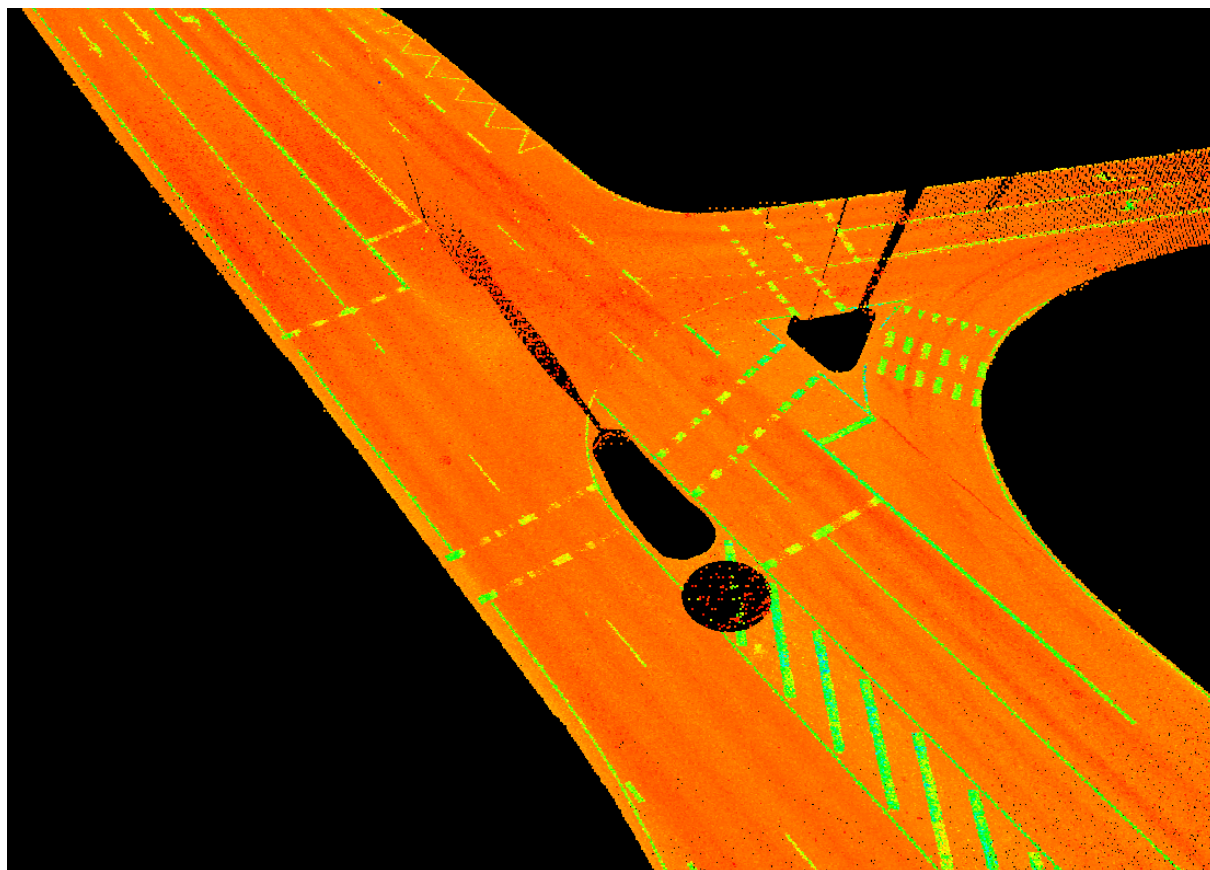
Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade idast.



Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku puhastatud punktipilv – pealtvaates.



Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku puhastatud punktipilve fragment – vaade lõunast.



Lisa 4. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku pildimaterjal

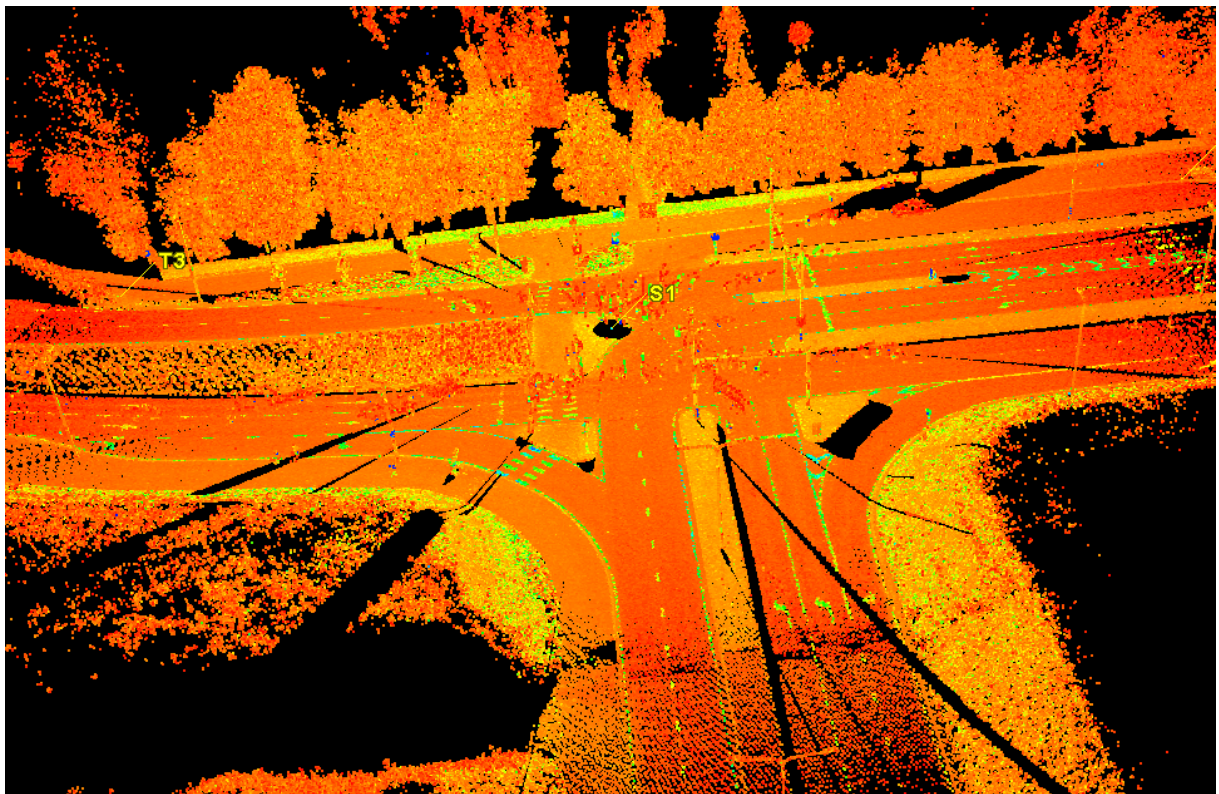
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmik– vaade Kristiine poole.



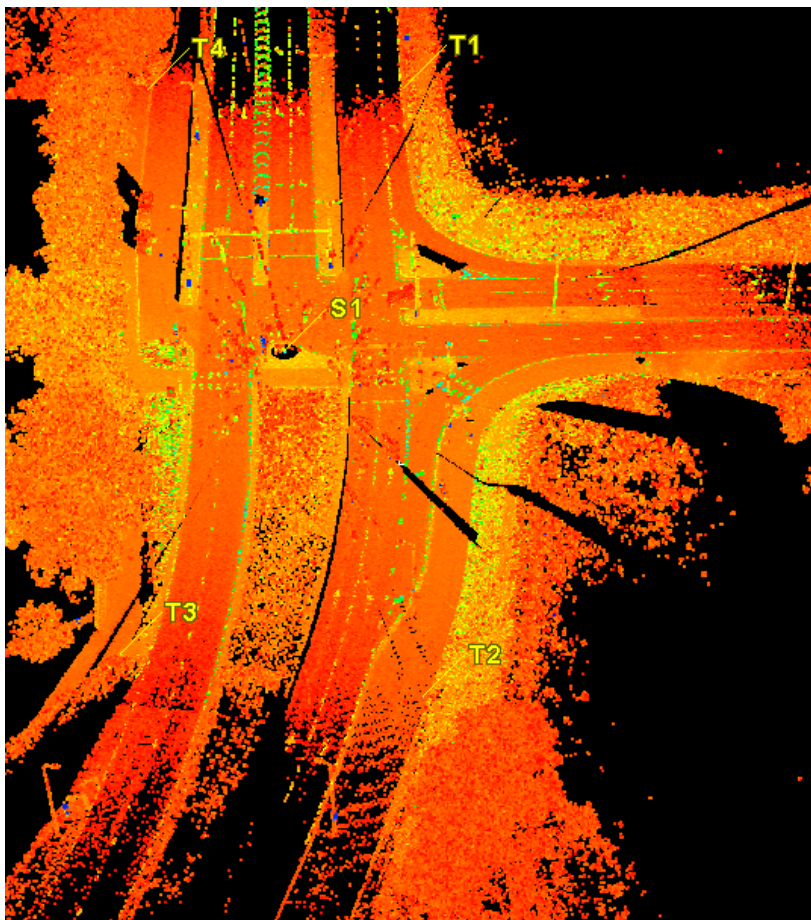
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmik– vaade Ülemiste poole.



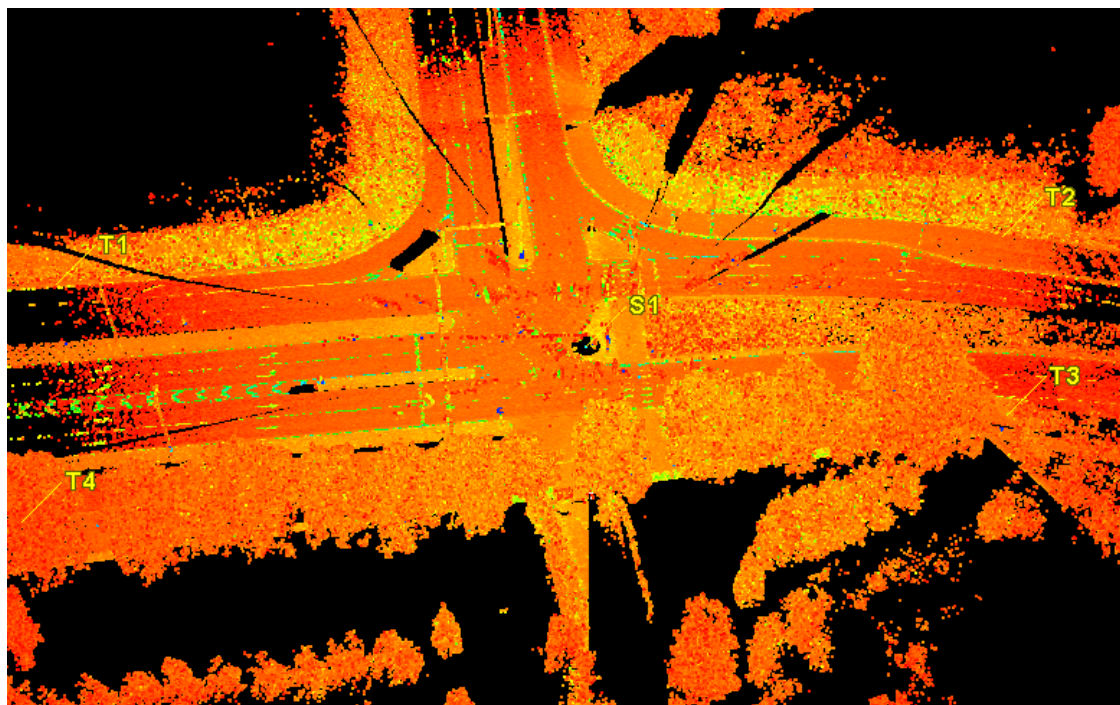
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade lõunast.



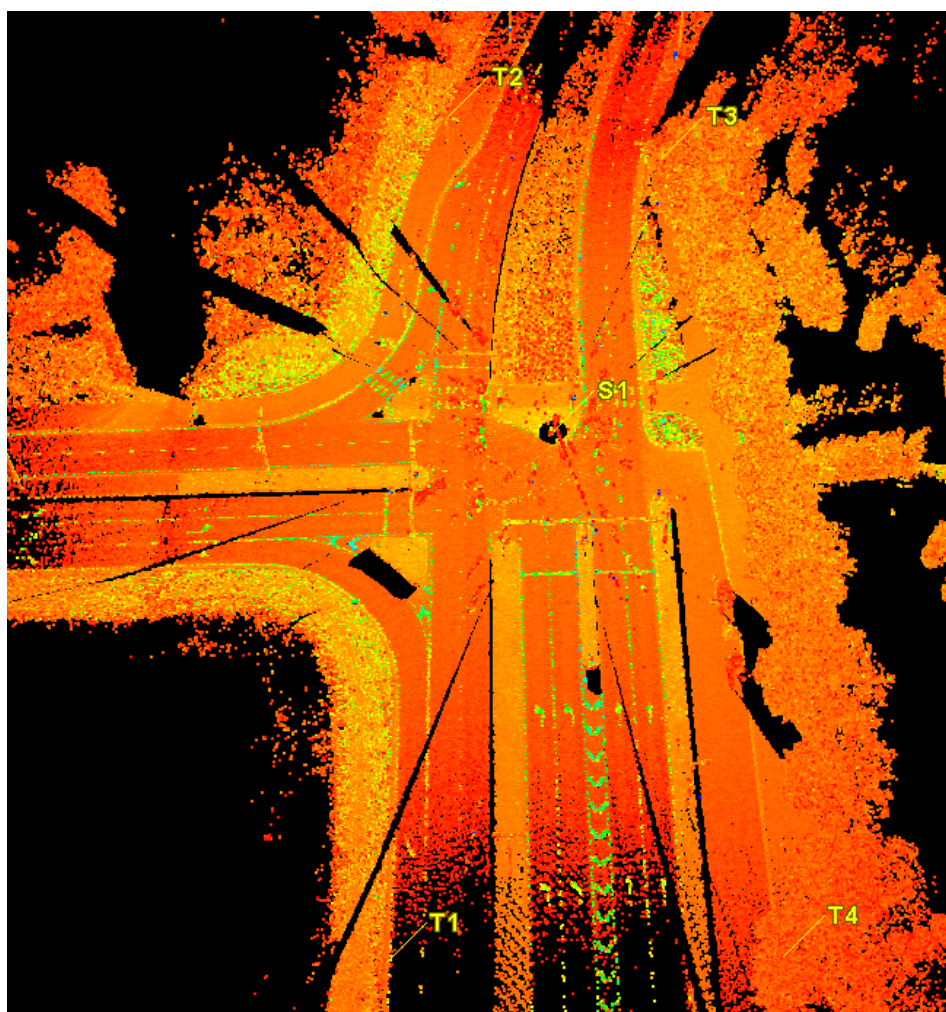
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku punktipilv (toorandmed) – vaade läänest.



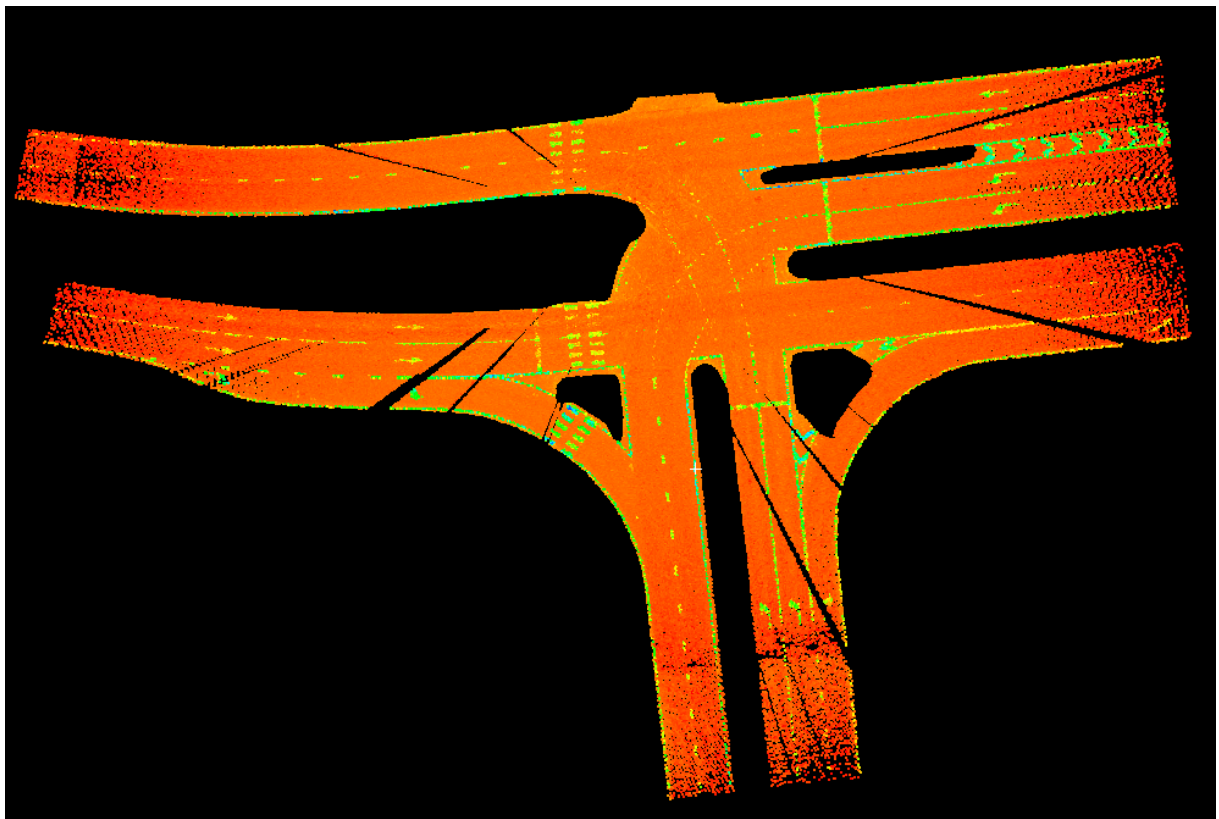
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku punktivilv (toorandmed) – vaade põhjast.



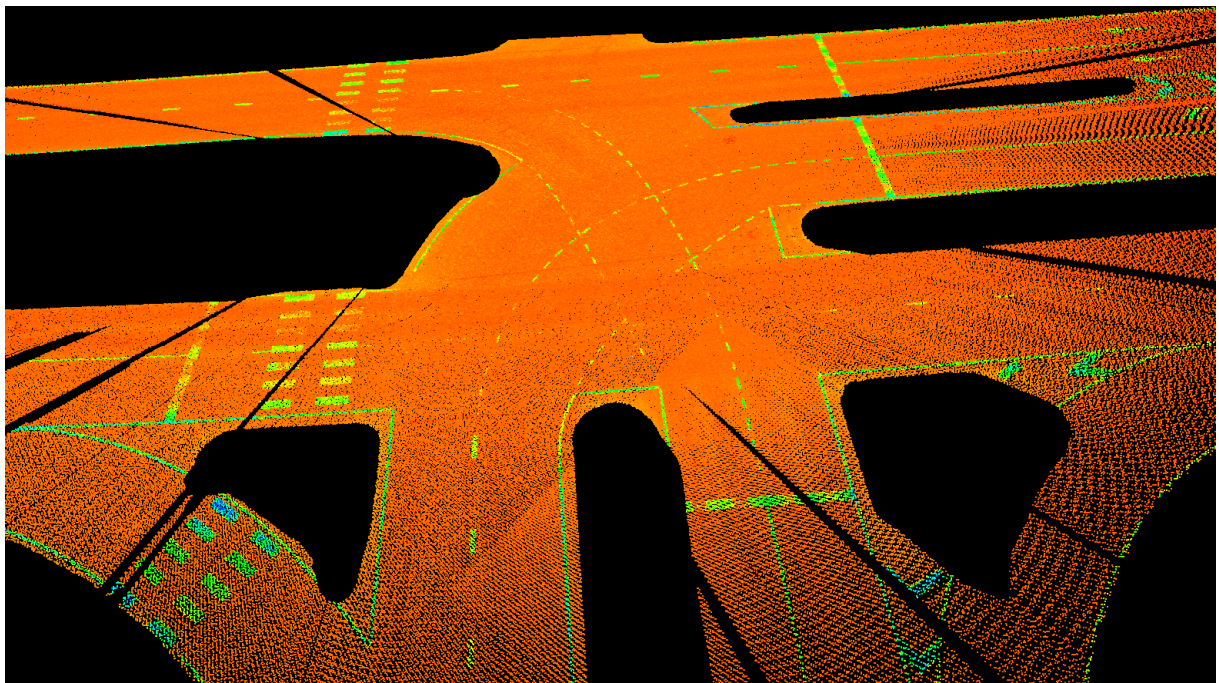
Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku punktivilv (toorandmed) – vaade idast.



Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku puhastatud punktipilv – pealtvaates.

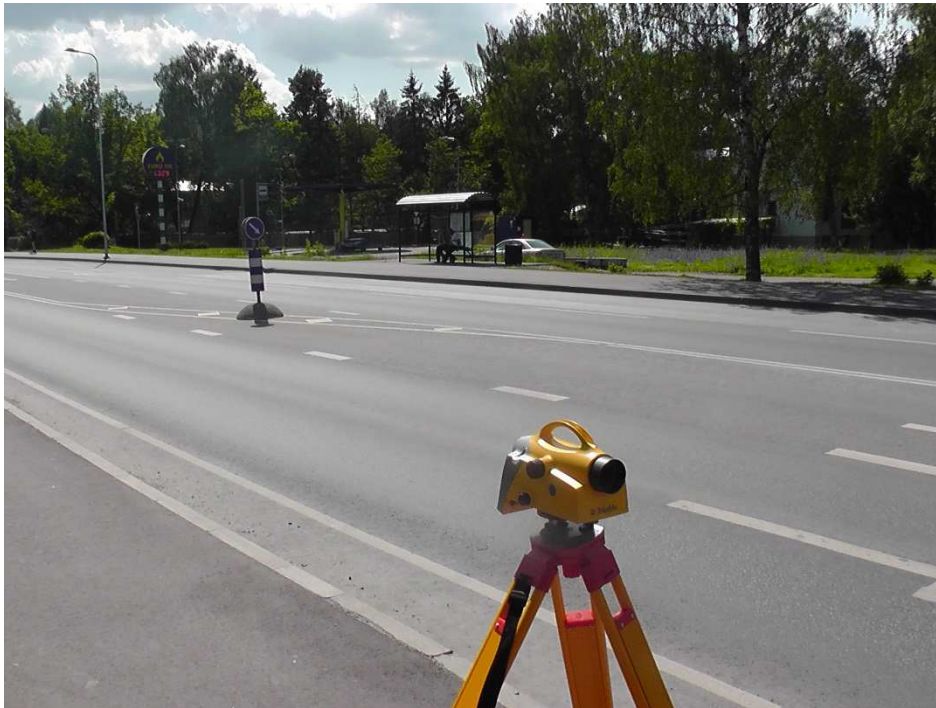


Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku puhastatud punktipilve fragment – vaade lõunast.

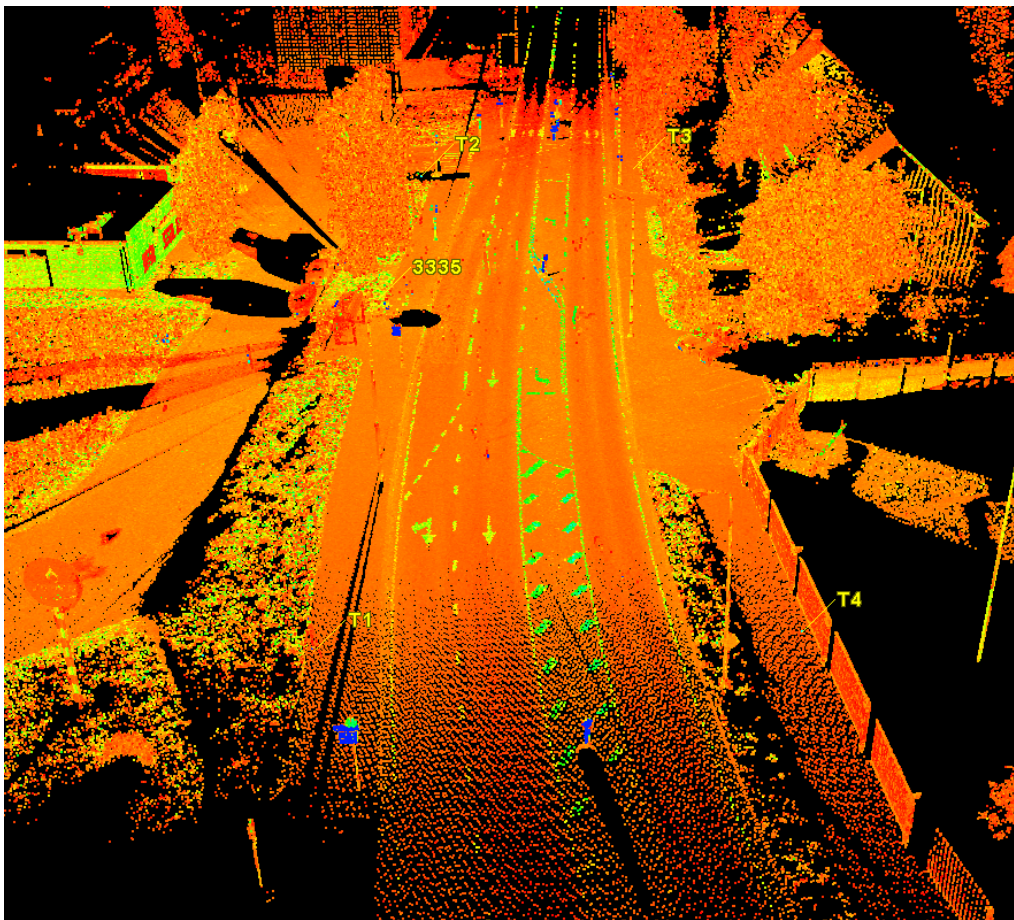


Lisa 5. Männiku tee pildimaterjal

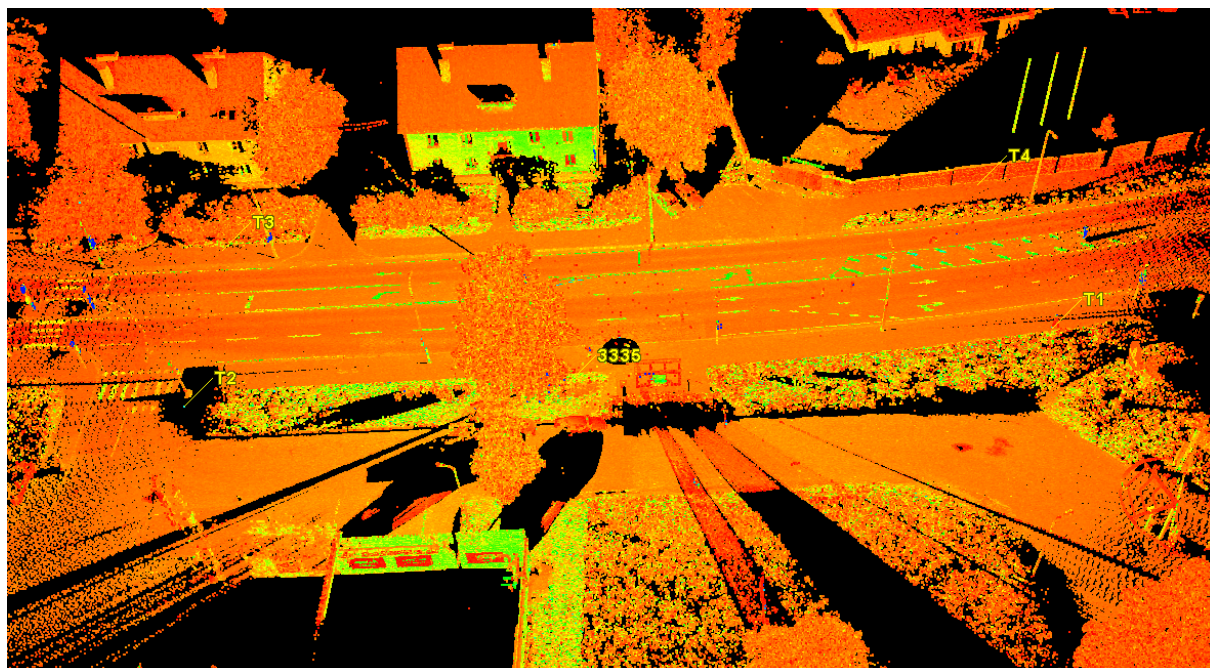
Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus – vaade edelast.



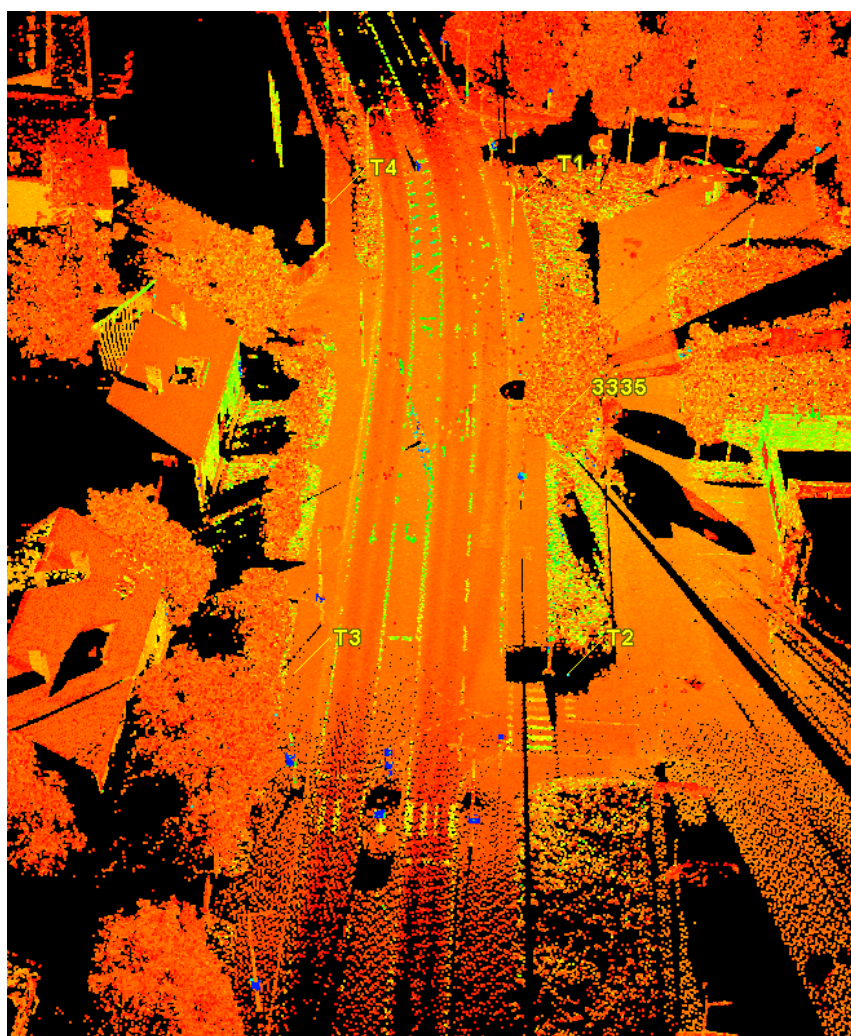
Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus punktipilv (toorandmed) – vaade lõunast.



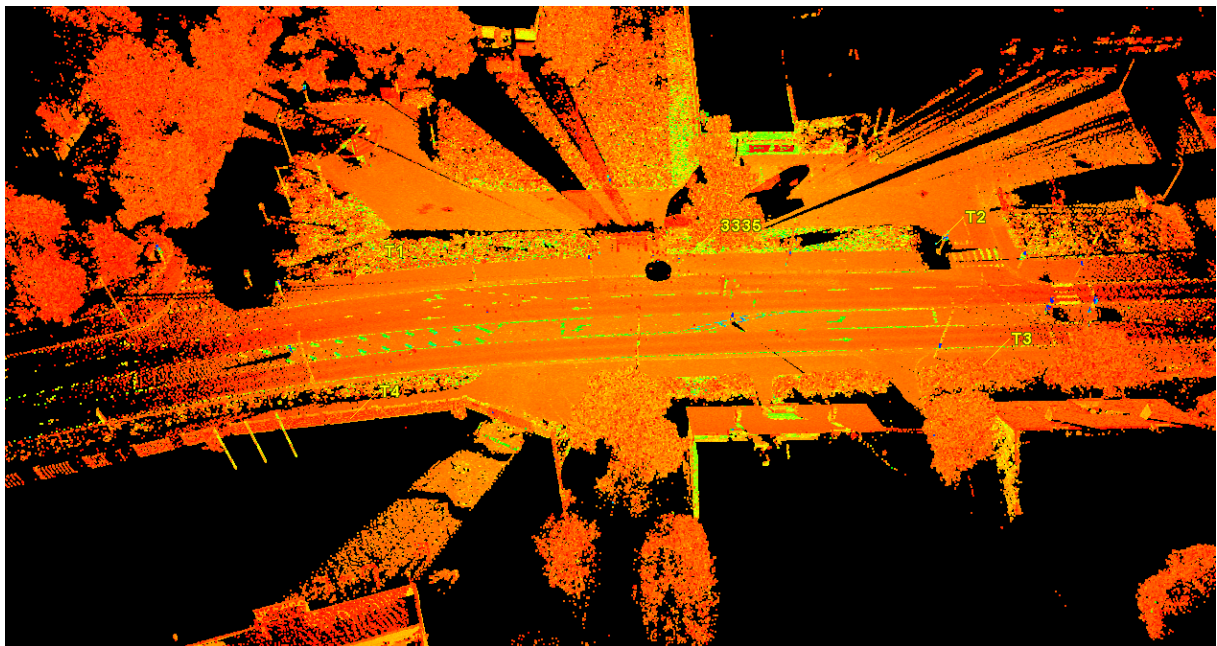
Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus punktipilv (toorandmed) – vaade läänest.



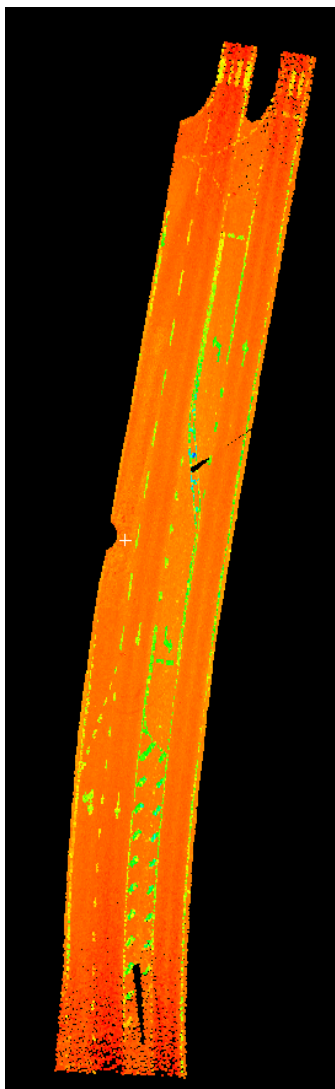
Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus punktipilv (toorandmed) – vaade põhjast.



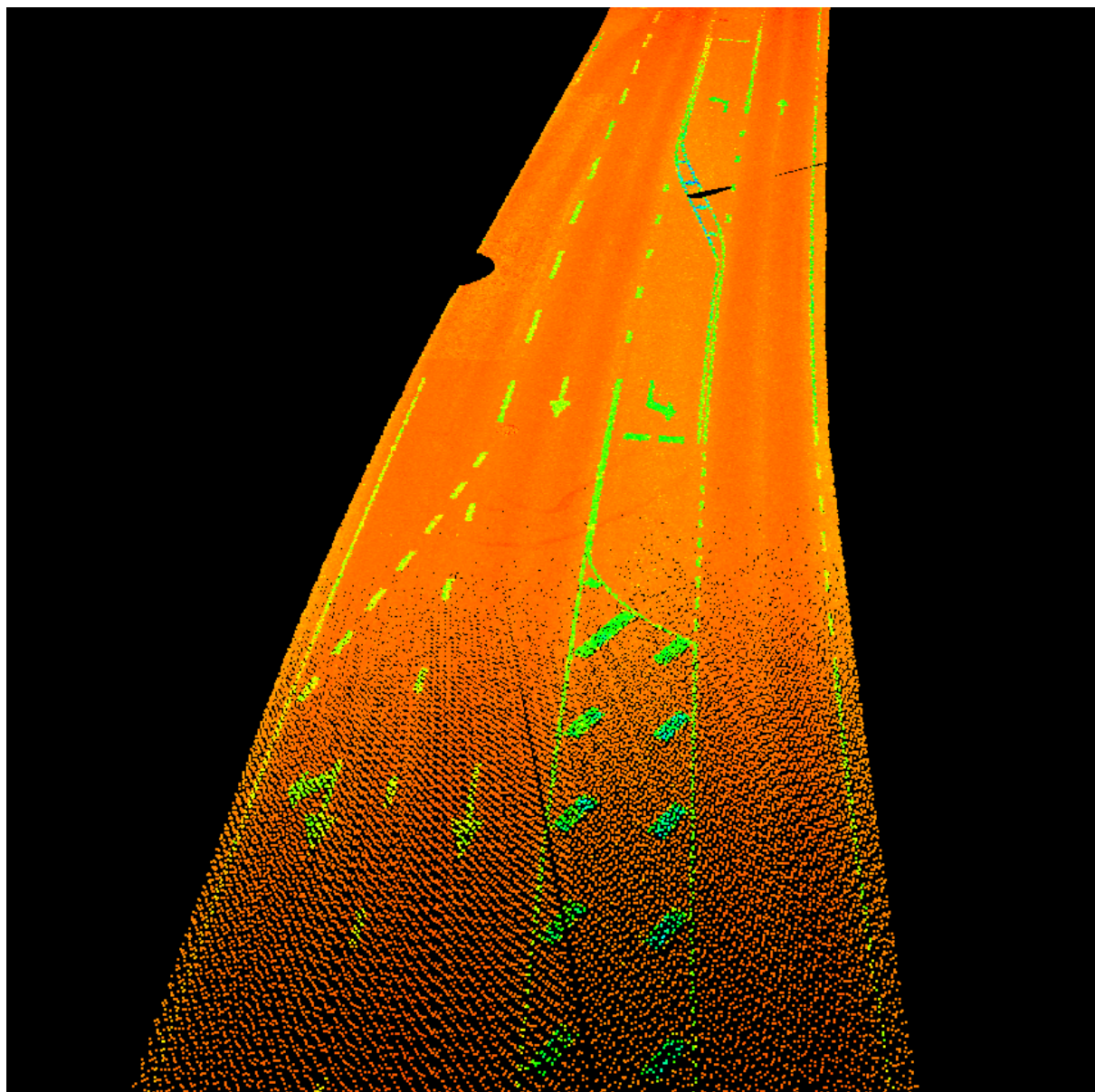
Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus punktipilv (toorandmed) – vaade idast.



Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus puhastatud punktipilv– pealtvaates.



Männiku tee „Kauge“ bussipeatuse ümbrus puhastatud punktipilve fragment – vaade lõunast.



Lisa 6. Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.004 m

for Disabled Constraints = 0.037 m

Date: 2014.10.10 14:24:14

Database name : Rist_Oismae

ScanWorlds

Oismae_LEST.txt (Leveled)

Station-001: SW-001 (Leveled)

Station-002: SW-002 (Leveled)

Station-003: SW-003 (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
t7	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, -0.001, -0.001) m	0.002 m	-0.001 m
t7	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.003, -0.003, 0.002) m	0.004 m	0.002 m
t6	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, -0.002, -0.001) m	0.003 m	-0.001 m
t6	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.000, -0.005, -0.003) m	0.005 m	-0.003 m
t5	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, -0.005, 0.000) m	0.006 m	0.000 m
t4	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, 0.000) m	0.003 m	0.000 m
t4	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, -0.005, -0.001) m	0.006 m	-0.001 m
t10	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(-0.005, 0.006, 0.000) m	0.008 m	0.000 m
t9	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.007 m	(-0.007, -0.001, 0.000) m	0.007 m	0.000 m
t9	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.036 m	(0.005, 0.034, -0.009) m	0.035 m	-0.009 m
t8	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.004, 0.000, 0.000) m	0.004 m	0.000 m
t8	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, -0.001, 0.000) m	0.005 m	0.000 m
t2	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.000) m	0.004 m	0.000 m
t2	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.001, 0.006, 0.002) m	0.006 m	0.002 m
t3	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.002, 0.000, -0.001) m	0.002 m	0.001 m
t3	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.006, 0.001, 0.002) m	0.006 m	0.002 m
t1	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, 0.003, 0.003) m	0.005 m	0.003 m
t1	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.001, -0.003, 0.002) m	0.004 m	0.002 m
pp	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.007 m	(0.000, 0.007, 0.000) m	0.007 m	0.000 m
s3	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.004, 0.001, -0.001) m	0.004 m	-0.001 m
s2	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.002, -0.001) m	0.002 m	-0.001 m
s2	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.001, -0.003, -0.001) m	0.004 m	-0.001 m
s1	Oismae_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.004, -0.004, -0.003) m	0.005 m	-0.003 m
t4	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.001, -0.004, -0.002) m	0.004 m	-0.002 m
t3	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.000, 0.001) m	0.003 m	0.001 m
t6	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.002, -0.003, -0.002) m	0.004 m	-0.002 m
t7	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.001, -0.002, 0.002) m	0.002 m	0.002 m
s2	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-002: SW-002 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, -0.001, -0.001) m	0.002 m	-0.001 m
t1	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.005, 0.001, -0.001) m	0.005 m	-0.001 m
t8	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.001, 0.000) m	0.001 m	0.000 m
t2	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, 0.003, 0.002) m	0.004 m	0.002 m
t9	Station-002: SW-002 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	0.038 m	(0.012, 0.035, -0.010) m	0.037 m	-0.010 m

```
ScanWorld Transformations
Oismae_LEST.txt (Leveled)
translation: (0.000, 0.000, 0.000) m
rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Station-001: SW-001 (Leveled)
translation: (536931.959, 6587132.672, 12.824) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):84.498 deg

Station-002: SW-002 (Leveled)
translation: (536844.997, 6587261.813, 12.972) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):61.024 deg

Station-003: SW-003 (Leveled)
translation: (536892.134, 6587191.348, 12.243) m
rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):76.731 deg
```

Ehitajate tee ja Õismäe tee ristmik

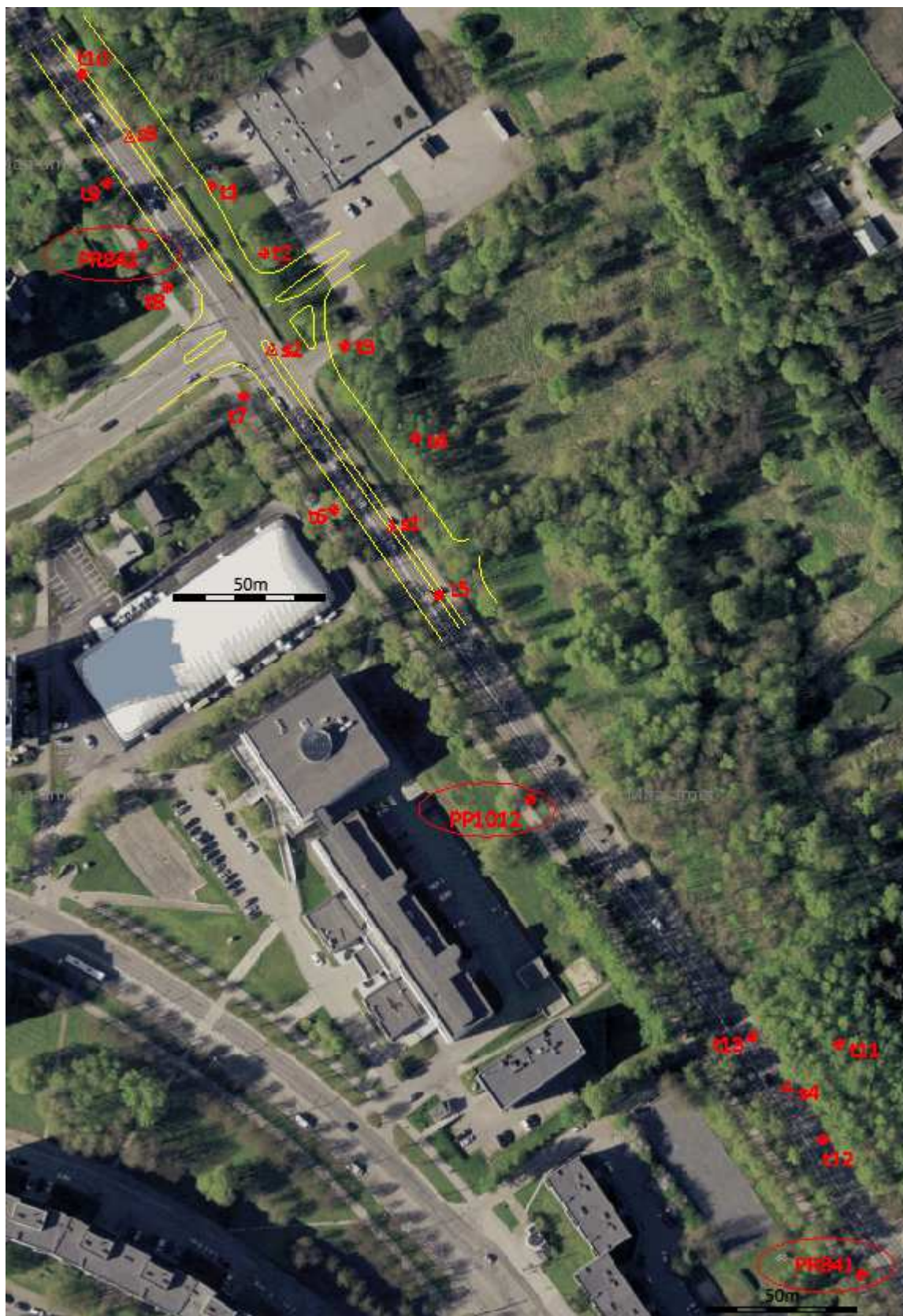
Baasi algpunkt

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

* Cyclone'is registreerimisel on arvatud skanneri peegli keskpunkti absoluutkõrgus, mis on punkti kõrguse ja skanneri kõrguse (maapinnast) summa.

** Baasi algpunktile tahhümeetriaga uusi koordinaate ei mõõdetud.

Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunktide PR841, PR842 ja PP1012 paiknemine. Kasutatud geodeetiliste punktide abrissid ning tsentritüüpide andmed on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.



Lisa 7. Ranna tee ja Muuli tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.008 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2014.10.10 13:32:00

Database name : Rist_RannaTee

ScanWorlds

Station-001: SW-001 (Leveled)

RannaTee_LEST.txt (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
T2	Station-001: SW-001 (Leveled)	RannaTee_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.014 m	(-0.004, 0.013, 0.000) m	0.014 m	0.000 m
T1	Station-001: SW-001 (Leveled)	RannaTee_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.004, 0.003) m	0.004 m	0.003 m
T3	Station-001: SW-001 (Leveled)	RannaTee_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.008 m	(0.007, -0.004, -0.001) m	0.008 m	-0.001 m
T4	Station-001: SW-001 (Leveled)	RannaTee_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.003, -0.005, -0.002) m	0.006 m	-0.002 m

ScanWorld Transformations

Station-001: SW-001 (Leveled)

translation: (546951.377, 6595841.919, 21.571) m

rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):85.325 deg

RannaTee_LEST.txt (Leveled)

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Ranna tee ja Muuli tee ristmik

Baasi
algpunkt ja
lähtereeper

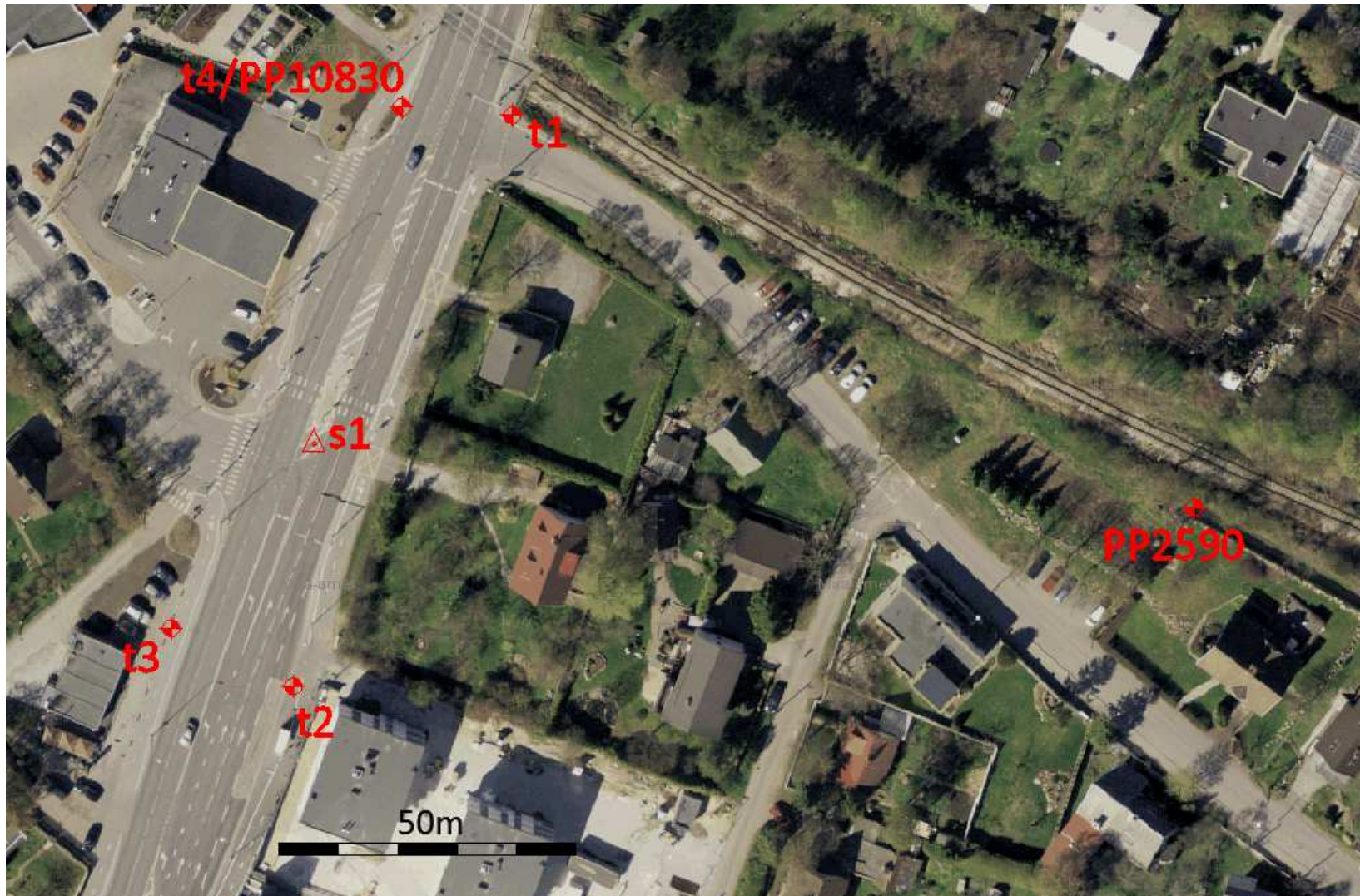
	L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)		
Nr	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus
t1	546984.786	6595897.508	21.245	0.20	x	x	x	x	x	x	x	0.000	0.000	0.000
t2	546947.809	6595800.902	18.612	0.20	x	x	x	x	x	x	x	-2.633	-2.633	0.000
t3	546927.145	6595810.722	18.611	0.20	546927.154	6595810.740	18.588	GNSS	-0.009	-0.018	0.023	-2.634	-2.634	0.000
t4/PP10830	546966.136	6595898.891	20.807	0.45	546966.136	6595898.891	20.788	GNSS	0.000	0.000	0.019	-0.438	x**	x
					546966.136	6595898.906	20.807	Kataloog	0.000	-0.015	0.000			
s1	546951.383	6595841.913	19.639	1.929	546951.377	6595841.92	21.57118	Cyclone*	0.006	-0.006	-0.003	-1.606	-1.606	0.000

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

* Cyclone'is registreerimisest on arvatud skanneri peegli keskpunkti absoluutkõrgus, mis on punkti kõrguse ja skanneri kõrguse (maapinnast) summa.

** Baasi algpunktile tahhümeetriaga uusi koordinaate ei mõõdetud.

Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunktide PP2590 ja PP10830 paiknemine. Kasutatud geodeetiliste punktide abrissid ning tsentritüüpide andmed on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.



Lisa 8. Tartu mnt ja Kanali tee ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.004 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2014.10.10 14:15:22

Database name : Rist_TartuMnt

ScanWorlds

Tartumnt_LEST.txt (Leveled)

Station-001: SW-001 (Leveled)

Station-003: SW-003 (Leveled)

Station-004: SW-004 (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
T4	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.004, 0.004, 0.000) m	0.006 m	0.000 m
T4	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, 0.002, 0.002) m	0.004 m	0.002 m
T5	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.005, 0.000) m	0.005 m	0.000 m
T5	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.003, 0.001) m	0.003 m	0.001 m
S3	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.003, 0.005, -0.002) m	0.005 m	-0.002 m
T6	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.000) m	0.004 m	0.000 m
T6	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.004, -0.001, 0.001) m	0.005 m	0.001 m
T6	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.000, -0.002) m	0.003 m	-0.002 m
T1top	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.006, 0.000) m	0.006 m	0.000 m
T1	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.004, -0.001) m	0.004 m	-0.001 m
T1	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.001, -0.003, -0.002) m	0.003 m	-0.002 m
T3	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, -0.002, 0.000) m	0.003 m	0.000 m
T3	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.001, -0.005, 0.002) m	0.005 m	0.002 m
T3	Tartumnt_LEST.txt (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, -0.002, 0.001) m	0.002 m	0.001 m
T6	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.002, -0.004, 0.001) m	0.004 m	0.001 m
T6	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.002, -0.002) m	0.003 m	-0.002 m
T3	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(0.000, -0.003, 0.002) m	0.003 m	0.002 m
T3	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m	0.001 m	0.000 m
T1	Station-001: SW-001 (Leveled)	Station-003: SW-003 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.000, 0.001, -0.002) m	0.001 m	-0.002 m
T4	Station-003: SW-003 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.000, -0.002, 0.003) m	0.002 m	0.003 m
T5	Station-003: SW-003 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, -0.002, 0.001) m	0.003 m	0.001 m
T6	Station-003: SW-003 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.001, -0.003) m	0.002 m	-0.003 m
T3	Station-003: SW-003 (Leveled)	Station-004: SW-004 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.001, 0.003, -0.002) m	0.003 m	-0.002 m

ScanWorld Transformations

Tartumnt_LEST.txt (Leveled)

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Station-001: SW-001 (Leveled)

translation: (545844.015, 6585770.496, 39.975) m

rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):3.641 deg

Station-003: SW-003 (Leveled)
translation: (545805.036, 6585829.476, 40.255) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):29.637 deg

Station-004: SW-004 (Leveled)
translation: (545779.726, 6585893.067, 40.367) m
rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):21.251 deg

Tartu mnt ja Kanali tee ristmik

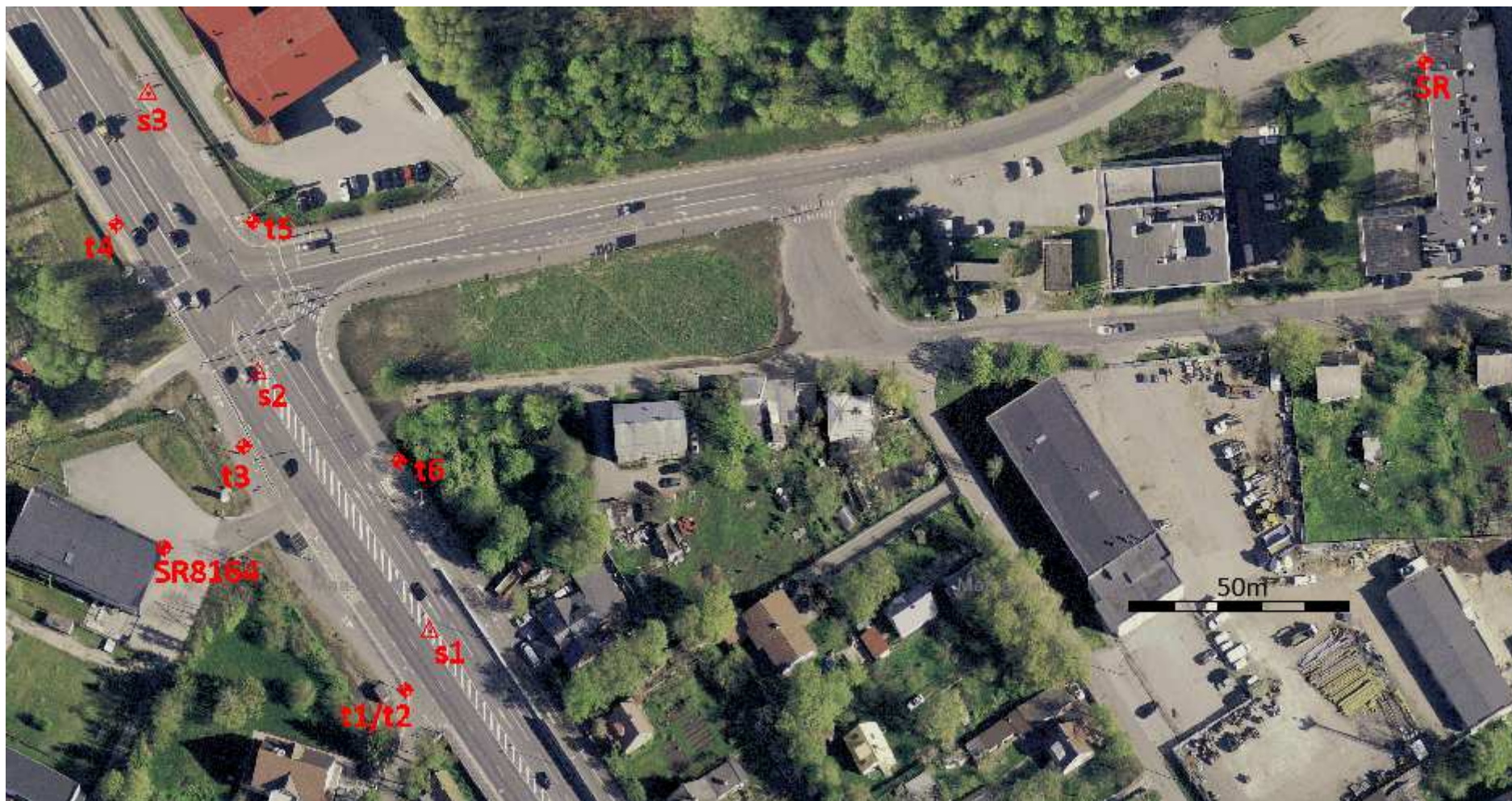
		L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)		
	Nr	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus
Baasi algpunkt	t1/t2	545838.319	6585757.211	38.007	0.20/1.90	545838.315	6585757.218	38.021	GNSS	0.004	-0.007	-0.014	0.000	0.000	0.000
	t3	545801.404	6585812.776	38.113	0.20	545801.404	6585812.776	38.125	GNSS	0.000	0.000	-0.012	0.106	x**	x
	t4	545772.387	6585863.333	38.391	0.20	x	x	x	x	x	x	x	0.384	0.385	-0.001
	t5	545803.556	6585863.873	38.504	0.20	x	x	x	x	x	x	x	0.497	0.497	0.000
	t6	545836.796	6585809.372	38.019	0.20	x	x	x	x	x	x	x	0.012	0.013	-0.001
	s1	545844.014	6585770.495	38.021	1.946	545844.015	6585770.496	39.975	Cyclone*	-0.001	-0.001	-0.008	0.014	0.017	-0.003
Lähtereeper	s2	545805.030	6585829.472	38.304	1.947	545805.036	6585829.476	40.255	Cyclone*	-0.006	-0.004	-0.004	0.297	0.299	-0.002
	s3	545779.728	6585893.060	38.469	1.893	545779.726	6585893.067	40.367	Cyclone*	0.002	-0.007	-0.005	0.462	0.462	0.000
	SR8164	x	x	37.558	x	545782	6585787	37.558	Kataloog	x	x	0.000	x	x	x
Reeper	SR (nr-ta)	x	x	38,064	x	x	x	x	Puudub Maa- ameti andmebaasist	x	x	x	x	x	x

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

* Cyclone'is registreerimisel on arvatud skanneri peegli keskpunkti absoluutkõrgus, mis on punkti kõrguse ja skanneri kõrguse (maapinnast) summa.

** Baasi algpunktile tahhümeetriaga uusi koordinaate ei mõõdetud.

Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunktide SR8164 ja SR (nr-ta) paiknemine. Seinareeperi SR8164 andmed on kirjeldatud Maaameti geodeetiliste punktide andmebaasis.



Tundmatut päritolu seinareeperi asukoht Kanali tee 1 hoone lääneseinas



Lisa 9. Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmiku registreerimise veahinnang ja statistika

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.003 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2014.10.10 14:20:12

Database name : Rist_FiltriTee

ScanWorlds

FiltriTee_LEST.txt (Leveled)

Station-001: SW-001 (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
T1	FiltriTee_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, 0.000) m	0.002 m	0.000 m
T2	FiltriTee_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.004 m	(-0.002, -0.003, -0.001) m	0.003 m	-0.001 m
T3	FiltriTee_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(-0.002, 0.002, 0.001) m	0.003 m	0.001 m
T4	FiltriTee_LEST.txt (Leveled)	Station-001: SW-001 (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, -0.001, 0.001) m	0.003 m	0.001 m

ScanWorld Transformations

FiltriTee_LEST.txt (Leveled)

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Station-001: SW-001 (Leveled)

translation: (543461.211, 6587256.055, 30.208) m

rotation: (-0.0000, -0.0000, -1.0000):-142.137 deg

Tehnika tn ja Veskiposti tn ristmik

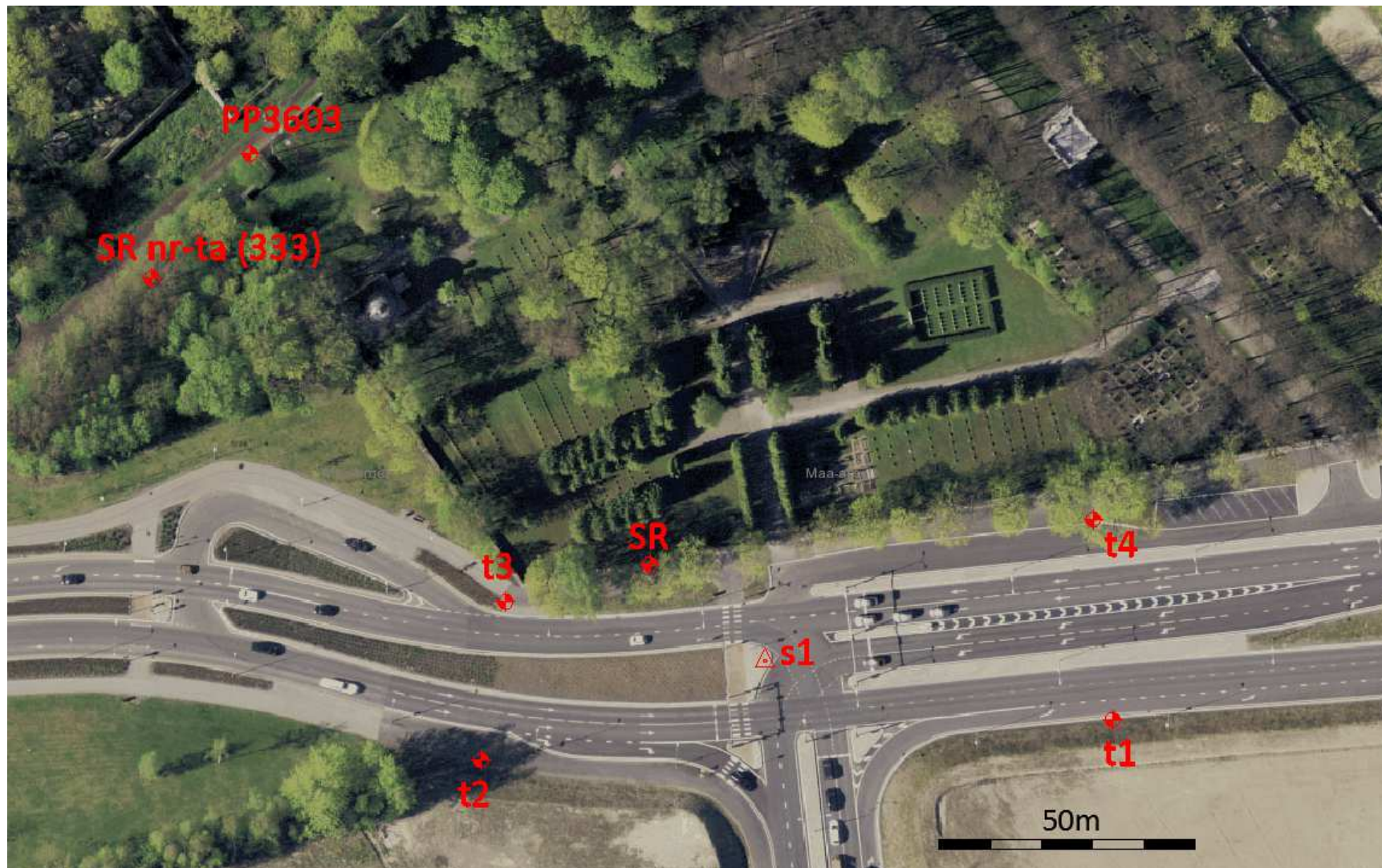
Baasi algpunkt		L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)			
	Nr	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus	
	t1	543529.198	6587244.595	29.073	0.20	543529.214	6587244.595	29.076	GNSS	-0.016	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.000	
	t2	543405.532	6587236.603	27.843	0.20	543405.532	6587236.603	27.854	GNSS	0.000	0.000	-0.011	-1.230	x**	x	
	t3	543410.380	6587267.621	27.039	0.20	x	x	x	x	x	x	x	-2.034	-2.034	0.000	
	t4	543525.414	6587283.711	29.570	0.20	x	x	x	x	x	x	x	0.497	0.496	0.001	
	s1	543461.208	6587256.059	28.283	1.922	543461.211	6587256.055	30.208	Cyclone*	-0.003	0.004	-0.003	-0.790	-0.790	0.000	
	Lähte- reeper Polüg. punkt Ise paigaldatud	SR nr-ta (333)	x	x	24.805	x	543341	6587331	24.805	Kataloog	x	x	0.000	x	x	x
		PP3603	x	x	24.151	x	543360.307	6587355.332	24.144	Kataloog	x	x	+0.007	x	x	x
		SR	x	x	28,291	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

* Cyclone'is registreerimisest on arvatud skanneri peegli keskpunkti absoluutkõrgus, mis on punkti kõrguse ja skanneri kõrguse (maapinnast) summa.

** Baasi algpunktile tahhümeetriaga uusi koordinaate ei mõõdetud.

Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunktide SR nr-ta(333) ja PP3603 ning tööreeperi SR (vt. ka joonis 18) paiknemine. Kasutatud geodeetiliste punktide abrissid ning tsentritüüpide andmed on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.



Lisa 10. Männiku tee registreerimise veahinnang ja statistika

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

for Enabled Constraints = 0.006 m

for Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2014.10.10 13:58:36

Database name : Rist_Manniku

ScanWorlds

Station-001: SW-001 (Leveled)

Manniku_LEST.txt (Leveled)

Constraints

Name	ScanWorld	ScanWorld	Type	On/Off	Weight	Error	Error Vector	Horz	Vert
3335	Station-001: SW-001 (Leveled)	Manniku_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.003, -0.005, -0.002) m	0.006 m	-0.002 m
T1	Station-001: SW-001 (Leveled)	Manniku_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.010 m	(0.000, 0.010, -0.001) m	0.010 m	-0.001 m
T2	Station-001: SW-001 (Leveled)	Manniku_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.005, 0.002) m	0.005 m	0.002 m
T3	Station-001: SW-001 (Leveled)	Manniku_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.006 m	(-0.004, -0.004, 0.001) m	0.005 m	0.001 m
T4	Station-001: SW-001 (Leveled)	Manniku_LEST.txt (Leveled)	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.005 m	(0.000, 0.005, 0.001) m	0.005 m	0.001 m

ScanWorld Transformations

Station-001: SW-001 (Leveled)

translation: (540773.169, 6581756.108, 43.141) m

rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):88.348 deg

Manniku_LEST.txt (Leveled)

translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Männiku tee

Baasi
algpunkt
Lähterepeer

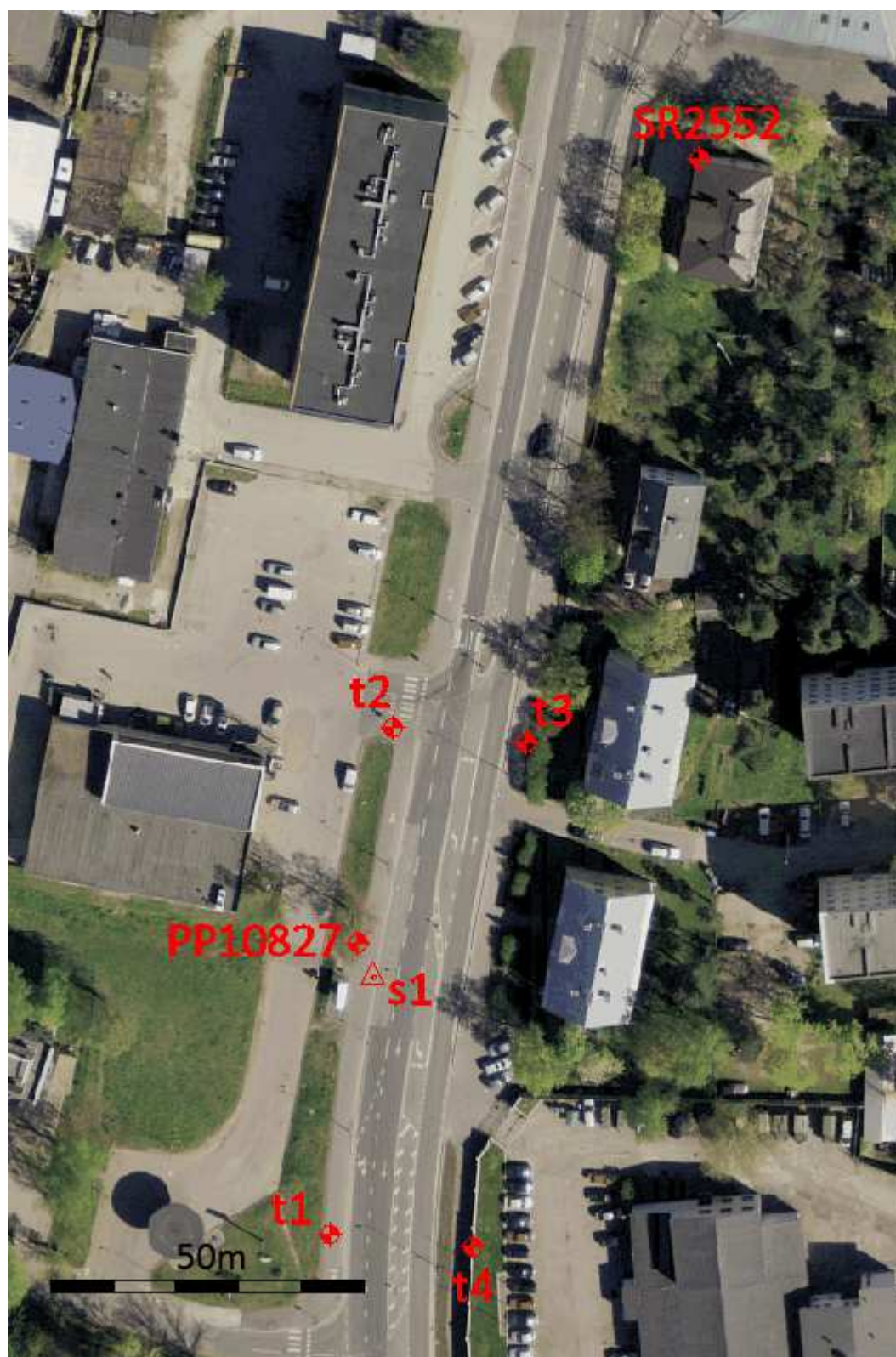
	L-EST97 (tahhümeetria)		BK77 (nivelleeritud)		Koordinaadid kataloogidest/GNSS mõõtmistest/Cyclone'is registreerimisest				Erinevused			Kõrguskasvud (kui t1=0)		
Nr	E	N	H	Tähise/skanneri kõrgus	E	N	H	Märkus	ΔE	ΔN	ΔH	Nivelleerimisest	Tahhümeetriast	Erinevus
t1	540766.183	6581714.965	41.393	0.20	540766.187	6581714.963	41.409	GNSS	-0.004	0.002	-0.016	0.000	0.000	0.000
t2	540776.170	6581796.000	40.669	0.20	x	x	x	x	x	x	x	-0.724	-0.720	-0.004
t3	540797.578	6581793.728	41.060	0.20	x	x	x	x	x	x	x	-0.333	-0.328	-0.005
t4	540789.047	6581712.982	41.335	0.20	x	x	x	x	x	x	x	-0.058	-0.053	-0.005
s1	540773.169	6581756.108	41.177	1.958	540773.171	6581756.108	43.141	Cyclone*	-0.002	0.000	-0.006	-0.216	-0.214	-0.002
PP10827	540770.666	6581761.619	40.716	0.20	540770.666	6581761.619	40.731	GNSS	0.000	0.000	-0.015	-0.677	x**	x
					540770.668	6581761.627	40.710	Kataloog	-0.002	-0.008	0.006			
SR2552	x	x	41,911	x	540826	6581887	41.911	Kataloog	x	x	0.000	x	x	x

Hallil taustal on GNSS mõõtmiste baasi otspunktid.

* Cyclone'is registreerimisest on arvatud skanneri peegli keskpunkti kõrgus, mis on punkti kõrguse ja skanneri kõrguse (maapinnast) summa.

** Baasi algpunkti tahhümeetriaga uusi koordinaate ei mõõdetud.

Kindelpunktide nivelleerimisel kasutatud lähtepunkti SR2552 paiknemine, selle abriss ning tsentritüüp on kirjeldatud Maa-ameti geodeetiliste punktide andmebaasis.



Lisa 11. 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-mõõtmistsükli (26/09/2014) olid 08.07.2014 välistemperatuurid vahemikus +21...26°C ja 26.09.2014 ca +14°C, seega $\Delta T \approx \pm 6^\circ$, 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 lõigu 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 sarnasuse²⁴ 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

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

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

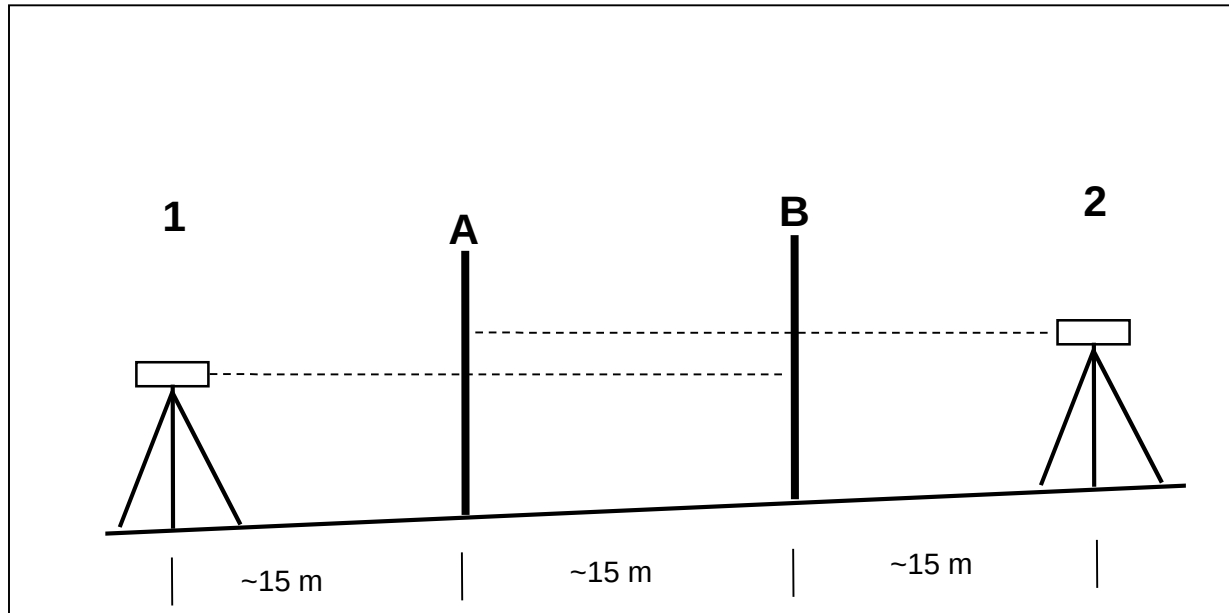
arvutatakse $E = \frac{1}{n} \sum \frac{\delta T}{\delta H} \text{ [}^\circ/\text{m]}$, kus n on seisude arv.

Vaatlustingimuste lühikokkuvõtteks, kuigi 08.07.2014 toimus nivelleerimine kuuma päikesepaistelise ilmagasiis käigu lühidust arvesse võttes võib eeldada, et refraktsiooni lokaalne mõju nivelleerimisjaamas oli väike ja kumulatiivne mõju, arvestades suhteliselt laugjalt unduleeruvat profiili, ei ole tarvis eraldi parandiga arvesse võtta.

²⁴ Invarlattide 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 16.



Joonis 16. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontroll *Nähbauer*'i meetodil.

Nivelliir asetati esimesse seisupunkti (~15 m kaugusel latist A) ning võetakse lugemid mõlemalt latilt (esimene 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 7.

Tabel 7. Nivelliiri viseerimiskiire horisontaalsuse kontroll tulemused

Jrk. nr	Kontroll			Vaatekiire kõrvalekalde horisontaal- asendist, c_ ["]
	kuupäev	kellaaeg	temperatuur C	
1	2014-07-08	08:00	+21	-17.4
2	2014-09-26	11:07	+11	-16.1

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 mõõtmisel on Maa kumeruse parand õlapikkuste võrdsuse tõttu tühine. Samuti eirati nivelliiri valikutes 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 12). 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 17.



Joonis 17. 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, pinnasereeperid või polügononomeetriapunktid. Edasiste mõõtmiste hõlbustamiseks paigutati Tehnika ja Kanali tee ristmiku läheduses paikneva Kaitseväge kalmistu müüri tänavapoolsele küljele ajutine reeper (tähistus SR1), vt joonis 18.



Joonis 18. Tehnika ja Kanali tee ristmiku läheduses paikneva Kaitsevæe kalmistu müüri tänavapoolsele küljele paigaldatud ajutine reeper (tähistus SR1)

Käigusektsiooni edasi- ja tagasisuunaline nivelleerimine sooritati mööda eelnevalt maha löödud metallvau. 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 suurust 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 8.

Tabel 8. Nivelleerimisreeperite kõrguste määramine

Punkt	Käigu pikkus [km]	jaamu	kõrguskasv [m]		erinevus [mm]	1.0 mm ±km	keskm. kõrguskasv	Kõrgus (I nivelleerimistsüklist)	Kõrgus riiklikust 1977 BKS kõrguste kataloogist
PR842	HAABERSTI							9,771	9,771
	0,42	5	0,51665	-0,51665	0	0,65	0,5167		
R841								10.2877	10.29
PP1012	Määratud vahevaatega nivelleerimiskäigust							10,2444	10.241
SR8164	TARTU MNT							37,558	37,558
	0,33	5	0,50556	-0,50604	0,48	0,57	0,5058		
SR n-ta								38,0638	Puudub kataloogis
PP10380	VIIMSI							20,807	20,807
	0,16	3	2,95936	-2,9592	0,16	0,40	2,9593		
PP2590								23,766	23,768
SR333	TEHNIKA TN							24,805	24,805
Vahevaade	0.03	1	-0,65385	----	----	----	-0,65385		
PP3601								24,1512	24.144
	0,2	4	4,14001	- 4,14032	0,31	0,45	4,1402		
SR.1	Paigaldatud 08.07.2014							28,2913	
SR2552	MÄNNIKU							41,911	41,911
	0,15	3	-1,19515	1,19528	0,13	0,39	-1,1952		
PP10827								40,7158	40,71

Käesolevas aruandes on ükssada kakskümmend viis (125) järjestikku nummerdatud lehekülge.