

Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet  
2019

TEHNOLOOGILISE  
LAHENDUSE PROTOTÜÜBI  
LOOMINE MAA-ALUSTE  
RAJATISTE 3D  
ANDMESEIREKS

Lõpparuanne



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti  
tuleviku heaks

EU51570

Innovatsiooni edendavate hangete toetamine

Käesolev lõpparuanne on koostatud Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalameti tellimusel Geospatial OÜ ja Georadar OÜ poolt projekti „Tehnoloogilise lahenduse prototüübi loomine maa-aluste rajatiste 3D andmeseireks“ raames.

Tööd võib tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda, tsiteerides tuleb viidata allikale.

Projekti „Tehnoloogilise lahenduse prototüübi loomine maa-aluste rajatiste 3D andmeseireks“ rahastatakse 50% ulatuses Euroopa Regionaalarengu Fondist ja 50% ulatuses Tallina Linnavolikogu 24.08.2017 otsuse nr 95 alusel Tallinna linna eelarvest.

© 2019 Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet

# Sisukord

<b>PROJEKTI MEESKOND</b> .....	<b>5</b>
<b>PROJEKTI JUHTRÜHM</b> .....	<b>5</b>
<b>MÕISTED JA LÜHENDID</b> .....	<b>6</b>
<b>1. KOKKUVÕTE</b> .....	<b>8</b>
<b>2. SISSEJUHATUS</b> .....	<b>11</b>
2.1 PROJEKTI VAJADUS.....	11
2.2 PROJEKTI EESMÄRK .....	11
2.3 PROJEKTI ULATUS.....	11
2.4 PROJEKTI ETAPID .....	12
<b>3. OLEMASOLEV OLUKORD</b> .....	<b>13</b>
3.1 PROBLEEMI PÜSTITUS .....	13
3.2 GEODEETILISTE ALUSPLAANIDE JA TEOSTUSJONISTE KVALITEET JA USALDUSVÄÄRSUS.....	14
3.2.1 <i>Uuringute olulisust ei eristata</i> .....	15
3.2.2 <i>Ruumiandmete päritolu ja täpsusklass teadmata</i> .....	15
3.2.3 <i>Geodeetiline alusplaan ei kajasta tehnovõrgu tegelikku paiknemist</i> .....	15
3.2.4 <i>Andmehõivel ei kasutata kaasaegset tehnoloogiat</i> .....	16
3.2.5 <i>Andmeid kirjeldatakse, säilitatakse ja väljastatakse erinevates formaatides ja täpsustes</i> .....	16
3.2.6 <i>Sageli puudub vajadus täpsete andmete järele</i> .....	16
3.2.7 <i>Eelarve ja ajakava ei võimalda täpseid ruumiandmeid</i> .....	17
3.2.8 <i>Puuduvad oskused ja kogemused</i> .....	17
3.2.9 <i>Tellijad ei nõua täpsete ruumiandmetega geodeetilisi alusplaan</i> .....	17
3.2.10 <i>Vastutus ruumiandmete puudumisel</i> .....	17
3.2.11 <i>Vale vastutus teostusjooniste koostamisel</i> .....	18
3.2.12 <i>Tehnovõrgu omaniku huvi puudus</i> .....	18
3.2.13 <i>Sidevõrkude rekonstrueerimine</i> .....	18
3.2.14 <i>Ebatäpsete andmete taaskasutus</i> .....	18
3.3 OLEMASOLEV OLUKORD ANDMEHALDUSES.....	19
3.3.1 <i>Olukord Tartus</i> .....	19
3.3.2 <i>Olukord Tallinnas</i> .....	21
3.3.3 <i>Kokkuvõte hetkeolukorrast Tallinnas ja Tartus</i> .....	22
<b>4. ANDMEHÕIVE JA ANDMEHALDUS</b> .....	<b>23</b>
4.1 ANDMEHÕIVE TEHNOLOOGIAD JA MEETODID.....	23
4.1.1 <i>Georadar (GPR)</i> .....	24
4.1.2 <i>Elektromagnetiline kaabliotsija (EM)</i> .....	34
4.1.3 <i>Positsioneerimine</i> .....	39
4.1.4 <i>Asukohaandmete ja sügavusandmete täpsused</i> .....	40
4.1.5 <i>Muud maa-aluste tehnovõrkude uurimismeetodid</i> .....	41
4.2 ANDMEHÕIVE PROTSESS .....	41
4.2.1 <i>Olemasolevate andmete uuring</i> .....	41
4.2.2 <i>Välivaatlus ja maapealsete objektide möödistamine</i> .....	41
4.2.3 <i>EML uuring</i> .....	42
4.2.4 <i>GPR uuring</i> .....	42
4.2.5 <i>Kaevude uuring</i> .....	42
4.2.6 <i>EML/GPR uuringu verifitseerimine/surfimine</i> .....	42
4.2.7 <i>Maapinna mudeli loomine</i> .....	43

4.2.8	3D uuringu tulemuste kokkupanek.....	43
4.3	ANDMEHALDUSE TEHNOLOOGIAD JA MEETODID.....	43
4.3.1	Atribuutandmete haldamise võimalused CAD failides .....	44
4.3.2	Atribuutandmete kasutamine .....	46
4.3.3	Atribuutandmete haldamise lisavahendid .....	46
4.3.4	Atribuutandmetena lisatav andmestik.....	47
4.3.5	Andmesiire.....	54
4.3.6	Tehnovõrkude 3D andmebaas.....	56
4.3.7	Andmehalduse GIS vahendid.....	59
4.3.8	Andmehaldussüsteemi komponendid .....	60
4.3.9	Arendamist vajavad teenused .....	60
4.4	ANDMEHALDUSE ÜLDINE PROTSESS .....	62
4.4.1	Projekteerimise eelse protsessi üldine kirjeldus: .....	63
4.4.2	Ehitusjärgse protsessi üldine kirjeldus:.....	64
<b>5.</b>	<b>UURINGU LÄBIVIIMINE VESIVÄRAVA TÄNAVAL.....</b>	<b>65</b>
5.1	UURINGU EESMÄRK.....	65
5.2	UURINGU TEOSTAMISE KOHT .....	65
5.3	UURINGUS KASUTATUD SEADMED.....	66
5.3.1	IDS GeoRadar .....	67
5.3.2	3D-Radar .....	68
5.3.3	MALÅ.....	69
5.3.4	ImpulseRadar .....	71
5.3.5	Leica ja Trimble .....	72
5.4	TESTIMISE LÄBIVIIMISE METOODIKAD .....	72
5.4.1	Georadarite ettevalmistamine testimiseks .....	73
5.4.2	Positsioneerimise meetodid .....	73
5.4.3	Ühekanaliliste georadarite testimine .....	74
5.4.4	Antennimassiiviga georadarite testimine .....	75
5.5	TÄIENDAV ANDMETE TÄPSUSTAMINE TESTOBJEKTIL.....	75
5.5.1	Kasutatud seadmed.....	76
5.5.2	Koordinaatvõrgustikuga sidumine .....	76
5.5.3	Kõrguslik sidumine .....	76
5.5.4	Tahhümeetriline mõõdistamine .....	76
5.5.5	Tänavavalgustuse kaablite tuvastamine EML kaabliotsijaga ja generaatoriga 33kHz.....	76
5.5.6	Sademevee kanalisatsiooni mõõdistamine sondiga.....	77
5.5.7	Sidekanalisatsiooni kaevude uurimine ja mõõdistamine EML-iga. ....	77
5.5.8	Kanaliseerimiskaevude uurimine ja mõõdistamine.....	78
5.5.9	Kaevu kaante koorinaadid.....	79
5.5.10	Maapinnamudeli mõõdistamine ja loomine .....	79
5.6	UURINGU TOORANDMETE TÖÖTLEMINE JA TARKVARA TEST .....	79
5.6.1	Object Mapper .....	80
5.6.2	rSlicer.....	81
5.6.3	Examiner.....	82
5.6.4	Gred-HD.....	84
5.6.5	Radan .....	85
5.6.6	CrossPoint.....	86
5.6.7	GPR Slice.....	87
5.6.8	Tarkvarade võrdlustabel.....	88
5.7	UURINGU TULEMUSED.....	91
5.7.1	3D Radari tulemused .....	92
5.7.2	IDS Stream Radari tulemused.....	94
5.7.3	Mira radari tulemused.....	96

5.7.4	3D võrdlus 3D radar, Stream EM ja Mira .....	99
5.7.5	Mira radari tulemused ristmikul.....	101
5.7.6	WideRange radari tulemused ristmikul .....	102
5.7.7	OperaDuo radari tulemused ristmikul .....	103
5.7.8	Vea hinnang .....	104
5.7.9	Kasutatud võrdlusmaterjal.....	105
5.7.10	3D mudelite loomine.....	107
<b>6.</b>	<b>NÕUETE PROJEKT MAA-ALUSTE TEHNOVÕRKUDE MÕÕDISTAMISELE JA TULEMUSTELE .....</b>	<b>113</b>
6.1	UURINGUTÜÜBID.....	113
6.1.1	Tüüp 1 – Olemasolevate andmete uuring .....	113
6.1.2	Tüüp 2 – Välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine.....	114
6.1.3	Tüüp 3 – Andmehõive geofüüsikaliste seadmetega .....	115
6.1.4	Tüüp 4 – Maa-aluste objektide mõõdistamine.....	117
6.2	MAA-ALUSTE TEHNOVÕRKUDE ASUKOHA- JA KÕRGUSANDMETE KVALITEEDIKLASSID.....	121
6.2.1	Kvaliteediklass D.....	121
6.2.2	Kvaliteediklass C.....	122
6.2.3	Kvaliteediklass B1.....	122
6.2.4	Kvaliteediklass B2.....	122
6.2.5	Kvaliteediklass A.....	123
6.3	TÄIENDUSED MAA-ALUSTE TEHNOVÕRKUDE MÕÕDISTAMISE VORMISTAMISELE .....	125
6.3.1	Täiendused maa-aluste tehnovõrkude topo-geodeetilistele uuringute vormistamisele .....	125
6.3.2	Täiendused maa-aluste tehnovõrkude teostusmõõdistamise vormistamisele .....	126
6.3.3	Joonistes kasutatavad elemenditüübid .....	128
<b>7.</b>	<b>REFERENTSID .....</b>	<b>129</b>

## PROJEKTI MEESKOND

<b>Meeskonna liige</b>	<b>Roll</b>	<b>Ettevõte</b>
<b>Olav Harjo</b>	Projektijuht	Georadar OÜ
<b>Andres Kärk</b>	CAD/GIS ekspert	Geospatial OÜ
<b>Raul Rokk</b>	Geodeesia insener	Geospatial OÜ
<b>Katrin Saul</b>	CAD/GIS arendusinsener	Geospatial OÜ
<b>Vallo Padari</b>	Geodeesia insener	Geodeesiatööde OÜ
<b>Emmanuel Thibaut</b>	Georadari ekspert	3D-Radar AS
<b>Elin Johansson</b>	Georadari ekspert	Guideline Geo AB
<b>Mike Langton</b>	Georadari ekspert	Guideline Geo AB
<b>Simone Cerella</b>	Georadari ekspert	IDS GeoRadar s.r.l
<b>Dario Mecarozzi</b>	Georadari ekspert	IDS GeoRadar s.r.l
<b>Mikael Burman</b>	Georadari ekspert	ImpulseRadar AB
<b>Christer Gustafsson</b>	Georadari ekspert	ImpulseRadar AB

## PROJEKTI JUHTRÜHM

<b>Juhtrühma liige</b>	<b>Asutus</b>
<b>Reio Vesiallik</b>	Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet
<b>Eret Hiimäe</b>	Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet
<b>Priit Willbach</b>	Tallinna Linnakantselei

## MÕISTED JA LÜHENDID

<i>EML</i>	Elektromagnetiline lokaator, trassiotsija. Seade maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamiseks.
<i>Andmesiire</i>	Protsess, mille käigus viiakse andmed lähteformaadist andmebaasi (andmete import) või andmebaasist sihtformaati (andmete eksport).
<i>GPR</i>	Georadar, kõrgtehnoloogiline geofüüsikaline seade maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamiseks.
<i>A-skaneering</i>	Georadariga ühes punktis kogutud näitude kogum
<i>B-skaneering</i>	Georadari A-skaneeringute jada, elektriväljade maatriks
<i>C-skaneering</i>	Georadari B-skaneeringute kogum, mis võimaldab horisontaalset vaadet
<i>BIM</i>	Ehitusinformatsiooni modelleerimine
<i>Käänupunkt</i>	Digitaalse joonise joon- või pindelemendi punkt, kus toimub joonise elemendi suuna muutus.
<i>Rajatis-tüüpi objekt</i>	Tasapinnaline pindelement, või suletud murdjoon maa-aluste kaevude, kambrite mõõtkavaliseks kujutamiseks.
<i>Toru-tüüpi objekt</i>	Joonobjektid, mille ristlõige on ring või ellips (nt. ümmargused üksiktorud, üksikkaablid).
<i>Pakett-tüüpi objekt</i>	Joonobjektid, mille ristlõige on ristkülik (nt kaablite ja torude paketid, künad, kaitserajatised jne).
<i>Kaev-tüüpi objekt</i>	Kaev-tüüpi objektid on esitatavad keskpunkti ja objekti mõõtmete abil.
Iseloomulik punkt	Torustiku või kaabli algus-, lõpp-, hargnemis- ja käänupunkt. Kõik torustiku või kaabli ühenduskohad (liitmikud, läbimõõdu üleminekud, jätkud, keevised, pimeääririkud jne).
<i>Tuvastatud tundmatu objekt (TTO)</i>	Objekt, mille olemasolu ja kõrgus on tuvastatud, kuid olemasolevate andmete alusel pole võimalik teda klassifitseerida (määrata kindlaks tehnovõrku, rajatise tüüpi vms).
<i>Trass</i>	Olemasolevat või kavandatava joonobjekti kulgu tähistav mõtteline telgjoon või vöönd ja nende tähistus plaanil.
<i>Koordinaatpunkt</i>	Teostusmöödistamisel tehnovõrgu ja -rajatise joonobjekti teljele või punktobjekti tsentrisse mõõdetud ja objekti asukohta riiklikult kehtestatud koordinaatsüsteemis X-, Y- ja Z-koordinaatidega kirjeldav punkt.
<i>2.5D CAD joonis</i>	DWG või DGN formaadis joonis, milles elementide omadused ja kõrgusandmed on lisatud atribuutandmetena elementide ja iseloomulikke punkte kajastavate koordinaatpunktide külge. 3D failiformaadis joonist, mille elementide kõrgus ei ole määratud nende elementide geomeetriaga, vaid mida kajastatakse eelpool mainitud viisil, käsitletakse 2,5D joonisena.
<i>2D CAD joonis</i>	DWG või DGN formaadis kahedimensionaalne joonis.
<i>3D CAD joonis</i>	DWG või DGN formaadis joonis, mille elementide geomeetria sisaldab nende tegelikku kõrgust.
<i>3D andmekogu</i>	Andmebaasi salvestatud elemendid koos atribuutidega nende omaduste, päritolu jne kohta ja mille geomeetria kajastab nende paiknemist looduses 3 mõõtme abil.
<i>DWG</i>	AutoCAD-i <sup>1</sup> platvormi failivorming, mida kasutatakse uuringutulemuste ja teostusjooniste vormistamisel.

<sup>1</sup> AutoCAD platvorm <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>

DGN	MicroStation <sup>2</sup> platvormi failivorming, mida kasutatakse uuringutulemuste ja teostusjooniste vormistamisel.
FME	Litsentseeritud tasuline tarkvara eriformaadiliste ruumiandmete kontrollimiseks, töötlemiseks, andmehaldusega seotud ülesannete lahendamiseks ning protsesside automatiseerimiseks (Feature Manipulation Engine).
GIS	Geograafiline infosüsteem ruumiinfo haldamiseks, visualiseerimiseks ja analüüsiks. (Geographic Information System)
NIS	Võrgu infosüsteem tehnovõrgu objektide ja nende vaheliste seoste haldamiseks (Network Information System)
GNSS	Global Navigation Satellite System, positsioneerimisseade, mis kasutab korraga paljude satelliitide (GPS, GLONASS, Galileo jne) signaale.
Robot tahhümeeter (TS)	Geodeetiline kõrgtehnoloogiline mõõtesead, tahhümeeter (Total Station)
Pseudo NMEA	Andmete spetsifikatsioon TS seadmetest reaajas positsioneerimise andmete edastamiseks kolmanda osapoolte tarkvaradesse.
NMEA <sup>3</sup>	Andmete spetsifikatsioon GNSS seadmetest reaajas positsioneerimise andmete edastamiseks kolmanda osapoolte tarkvaradesse.
VRS	Teenus, mis võimaldab maamõõtjatele, tsiviilehitajatele ja geograafiaspetsialistidele juurdepääsu reaajas kinemaatilistele (real-time kinematic – RTK) GPS & GLONASS (GNSS) parandustele, ilma et selleks oleks vaja kasutada baasjaama.
RTK <sup>4</sup>	Reaalaja kinemaatiline meetod GNSS positsioneerimisandmete asukoha täpsuse parandamiseks.
CCTV	Kaamerasüsteem torustike seisukorra määramiseks
MKM nõuded <sup>5</sup>	Majandus- ja taristuministri määrus 14.04.2016 nr 34 „Topo-geodeetilisele uuringule ja teostusmöödistamisele esitatavad nõuded“.
Tartu Geoarhiiv <sup>6</sup>	Tartu piirkonna geomöödistuste infosüsteem
Tallinna Geoveeb <sup>7</sup>	Tallinna geomöödistuste infosüsteem
TLPA	Tallinna Linnaplaneerimise Amet

<sup>2</sup> MicroStation platvorm <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation>

<sup>3</sup> NMEA andmespetsifikatsioon [https://en.wikipedia.org/wiki/NMEA\\_0183](https://en.wikipedia.org/wiki/NMEA_0183)

<sup>4</sup> RTK [https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time\\_kinematic](https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_kinematic)

<sup>5</sup> MKM nõuded <https://www.riigiteataja.ee/akt/119042016003>

<sup>6</sup> Tartu Geoarhiiv <https://geoarhiiv.tartu.ee/>

<sup>7</sup> Tallinna Geoveeb <https://geoarhiiv.tartu.ee/>



# 1. KOKKUVÕTE

Täna Tallinnas taristute rajamisel ja renoveerimisel tehtavate ehituseelsete uuringute ja ehitusjärgsete teostusmöödistuste meetodid ning möödistamiseks kasutatavad seadmed ja tehnoloogiad ei võimalda koguda, töödelda ega kasutusse anda terviklikku maa-aluste tehnorajatiste andmestikku vajaliku detailsuse ja täpsusega. Tänu sellele on väljakujunenud olukord, kus töid teostatakse puudulike andmetega, mis muudab tööd ressursi- ja ajamahukamateks ning seab ohtu ehitajate ning linnaelanike turvalisuse. Lisaks toodetakse andmeid, mille kvaliteet ja usaldusvärsus on teadmata.

Eestis koguvad ja haldavad maa-aluste tehnovõrkude infot peamiselt võrguvaldajad ise mahus ja viisil, mida on neil vaja oma ülesannete täitmiseks ja mis nõuab minimaalselt kulutusi. Andmete väljastamine teistele sõltub erinevate trassivaldajate poolt kehtestatud reeglitest. Selliste ülesannete lahendamiseks, mis nõuavad erinevate trasside andmete ja asukohtadega arvestamist, on kasutusel kooskõlastamiste süsteem. Põhiline probleem on selles, et trassivaldajad ei oma ise oma võrkude kohta täpset asukoha infot ning ei ole huvitatud oma informatsiooni usaldamisest võõrastesse kätte.

Kohalikel omavalitsustel on vajadus omada ülevaadet ja kohustus menetleda oma haldusterritooriumil tehtavaid geodeetilisi töid ja kaevetöid. Geodeetilised tööd jagunevad kaheks: projekteerimiseelsete uuringud ja ehitusjärgsed teostusmöödistused. Kaevetööd on vajalikud praktiliselt kõikide taristute ja ehitiste rajamiseks. Nende kohustuse täitmiseks peab Tallinna linn omama juurdepääsu kõikidele tema territooriumil paiknevate maa-aluste tehnovõrkude asukohtaandmetele ning tagama nende usaldusvärsuse ning kättesaadavuse kõikidele põhjendatud huviga isikutele.

Tallinnas, Tartus ja veel mõnes kohalikus omavalitsuses on loodud omad lahendused geodeetiliste tööde menetlemiseks ning andmete säilitamiseks. Tallinnal on geomöödistuste infosüsteem Tallinna Geoveeb, kus hallatakse põhiliselt geodeetilisi alusplaane ja teostusjooniseid, lisaks on võimalik hallata ka andmekorrastus-, ehitusgeoloogia- kui ka katastrimöödistustöid. Kogu andmevahetus toimub veebirakenduse kaudu. Koondplaani andmeid hoitakse andmebaasis. Geoveebi kasutajad on geodeedid ja linnaametnikud. Tartus on geodeetiliste tööde haldamiseks arendatud veebipõhine tööde halduskeskkond „Tartu Geoarhiiv“. Geoarhiiv rakendati 2011. aasta lõpust. Geoarhiivi eesmärgiks on tööde menetlus ja saada terviklik koondplaan möödistatud objektidest koos metainfoga, mida oleks võimalik kasutada linnas erinevate ülesannete täitmiseks. Loodud tervikpilti kasutavad maamööstjad uute möödistuste alusandmetena.

Kvaliteetsete ja usaldusväärsete andmete saamiseks ning haldamiseks on olemas tänapäevased tehnoloogiad, mille kasutusele võtmine tagab projekti eesmärkide saavutamise. Projekti käigus uuriti paljusid erinevaid lahendusi ja alternatiive ning jõuti välja toimivate tehnoloogiate ja protsessideni. Terviklik andmehõive ja -halduse protsess jaguneb erinevateks etappideks:



Joonis 1. Andmehõive ja -halduse protsessi etapid

Protsessi kavandamisel on lähtutud lahendamist vajavatest ülesannetest ja nende prioriteetidest:

- Võimaldada usaldusväärne 3D alusinfo planeerimis- ja projekteerimistööde jaoks
- Vältida ootamatusi ehitus- ja kaevetöödel ja tagada nii nende plaanipärane kulgemine

- Tagada olemasolevate tehnovõrkude terviklikkuse säilimine ehitus- ja kaevetöödel
- Tagada kogutud 3D andmete ajakohasus
- Tagada kogutud 3D andmete usaldusväärsuse säilimine
- Vähendada samade maa-aluste rajatiste korduvate uuringute vajadust
- Tagada tehnovõrkude andmestiku masinloetavus

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine on olnud siiani komplitseeritud, kuna neile puudub suuremas osas nii füüsiline kui ka visuaalne juurdepääs. Kuigi viimastel aastatel on tehnoloogiad kiiresti arenenud, ei ole olemas ühte täiuslikku tehnoloogiat, mis suudaks tuvastada, visualiseerida, kaardistada ja kirjeldada kõik maa-alused tehnovõrgud. Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine on võimalik, kui kasutada mitme erineva geofüüsika ja geodeesia tehnoloogia kombinatsiooni ning komplektset andmehõive protsessi. Selle tulemusena on võimalik tuvastada ja täpselt kaardistada enamus maa-aluseid tehnovõrke ning saada neist terviklik andmekogum, mida saab kasutada erinevates GIS ja CAD tarkvarades. Kolm kõige tähtsamat tehnoloogiat maa-aluste tehnovõrkude andmehõives on: georadar (GPR), elektromagnetiline lokaator (EML) ja geodeetilisteks mõõdistusteks GNSS või tahhümeeter. Uuringutes, kus on vaja saada maa-aluste tehnovõrkude kohta täpseid ja täiuslike andmeid, on kõigi kolme tehnoloogia kasutamine kohustuslik.

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamiseks ja kaardistamiseks on mitmeid uuringu meetodeid. Erinevate meetoditega on võimalik saada erineva kvaliteedi ja usaldusväärsusega andmeid. Sageli on vajadused andmete täpsuse osas erinevad. Näiteks maa-ala üldplaneeringu koostamisel ei ole tehnovõrkude andmete kvaliteet nii oluline kui konkreetse ehitusprojekti koostamisel või kaevetöö teostamisel. Maa-aluste tehnovõrkude uuringu maksumus ning selle läbiviimiseks kuluv aeg sõltub sellest, kui täpseid ja usaldusväärseid andmeid soovitakse saada. Selleks, et anda selgust nii tehnovõrkude uuringu tellijale kui ka uuringu läbiviijale, milliseid tulemusi ning millise tööga soovitakse saada, tehakse ettepanek jagada maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine neljaks uuringutüübiks:

- Uuringutüüp 1 – Olemasolevate andmete uuring
- Uuringutüüp 2 – Välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine
- Uuringutüüp 3 – Andmehõive geofüüsikaliste seadmetega
- Uuringutüüp 4 – Maa-aluste objektide mõõdistamine

Olenevalt töö liigist saab ka kohalik omavalitsus määrata, milliseid uuringuid on vaja teostada.

Käesolevas aruandes tehakse ettepanek luua maa-aluste tehnovõrkude asukoha- ja kõrgusandmete kvaliteediklassid. Kvaliteediklass näitab maa-aluse tehnovõrgu asukoha- ja kõrgusandmete täpsust ja usaldusväärsust. Kvaliteediklass omistatakse uuringu alas igale maa-alusele tehnovõrgu elemendile eraldi. Ühel tehnovõrgul võib olla erinevaid kvaliteediklasse vastavalt sellele, millises ulatuses ning milliste meetoditega on seda uuritud ja kaardistatud. Tellija võib tellida ühes uuringus erinevaid andmete kvaliteediklasse. Kvaliteediklasse võib tellida kindlale piirkonnale kõikidele tehnovõrkudele või ühele konkreetsele tehnovõrgule uuringu alas. Millist kvaliteediklassi on tehnovõrgule võimalik omistada, selgub uuringu lõpuks. Mida kõrgemad on nõuded kvaliteediklassile, seda kallim ja aeganõudvam on uuring. Kvaliteediklasside aluseks on võetud mitmes riigis (PAS 128<sup>8</sup>, CSA S250<sup>9</sup>, ASCE 38-02<sup>10</sup>) kasutusel olev klassifikatsioon: D, C, B ja A klass. See on oluline nii suurte hangete läbiviimisel

<sup>8</sup> Specification for underground utility detection, verification and location, BSI 2014

<sup>9</sup> Mapping of Underground Utility Infrastructure, CSA Group, 2012

<sup>10</sup> Standard Guideline for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data, ASCE 2003

kui ka regulatsioonide ja tegevuste harmoniseerimisel rahvusvaheliselt. See on samuti oluline piiriüleste projektide (Rail Baltica, TAL-HEL tunnel jmt) jaoks.

Projekti tulemusena hakkab toimuma üleminek 2D andmetelt 3D andmetele, mida hallatakse ühtses 3D andmebaasis. Kuna tegemist on väga suure muudatusega, siis pakutakse käesolevas töös välja lahendus, mis võimaldaks lisanõuete rakendamisel säilitada 2D visuaalsuse ja samas laadida objektid koos tehniliste andmetega automatiseeritud protsesside abil 3D andmebaasi 3D geomeetriateks. Pakutava lähenemise eeliseks on:

- Olemasolevad protsessid ei lähe katki;
- Erinevate osapoolte vajadustega ei minda vastuollu;
- Olemasolevate regulatsioonide muudatusi on võimalik rakendada kiiresti;
- Kõik andmete kvaliteediklassid ei nõua sügavusandmeid;
- Joonise elemendid on automaatselt teisendatavad 3D andmebaasi objektideks;
- Joonised on kasutatavad paber kandjal;
- Joonisest saadavad andmed on kasutatavad BIM projektides.

Selleks, et oleks võimalik täiendavaid nõudeid rakendada, on vaja välja arendada 3D tehnovõrkude andmebaas, andmehalduskeskkond ja protsessid. Protsessid peavad toetama andmete aktiivset kasutust, mis võimaldab tõsta andmete kvaliteeti ja usaldusväarsust.

Selleks, et kõik sidusrühmad oleks huvitatud projekti tulemuste realiseerimisest ning tulevikus 3D tehnovõrkude andmebaasi kasutamisest, peavad nad sellest kasu saama. Erinevatel osapooltel on erinevad huvid, millega tuleb projekti realiseerimisel arvestada:

Geodeesia ettevõtte:

- Kogu tehniline info on kättesaadav ühest kohast;
- Usaldusväärsed andmed annavad võimaluse uuringute paremaks planeerimiseks ja arusaamise, mida on vaja uurida ja milliseid andmeid saab taaskasutada;
- Kaob vajadus samade objektide korduvaks mõõdistamiseks.

Tehnovõrkude valdaja:

- Täpsete asukohaandmete olemasolu vähendab tehnovõrkude lõhkumisi;
- Kiirendab planeerimise otsuseid uute võrkude rajamisel.

Projekteerija:

- Kvaliteetsed andmed = kvaliteetsem projekt

Tellijaja:

- Kvaliteetsed andmed vähendavad riske ja ehituse maksumust;
- Kvaliteetsed andmed kiirendavad ehituse valmimist;
- Kvaliteetsed andmed võimaldavad paremat ehituse kvaliteeti.

Ehitaja:

- Väheneb oht ehitajate tervisele ja elule;
- Väheneb oht põhjustada majandusliku kahju;
- Väheneb vajadus teostada ümberprojekteerimist;
- Vähenevad tööseisakud;
- Vähenevad kulud.

## 2. SISSEJUHATUS

### 2.1 Projekti vajadus

Maa-aluste tehnovõrkude andmete kogumine ja haldamine vajab senise igapäevase praktika asemele uut kaasaegset lähenemist ja lahendust. Linnaruumi planeerimisel ja ehitiste (hooned ja rajatised) projekteerimisel mudelprojekteerimisele üleminekul on vältimatuks eeldusteks vajalikus kvaliteedis ja detailsuses 3D info ja tegelikkusele vastavate andmete olemasolu. Andmed peavad olema kolmemõõtmelistena töödeldavad ning taaskasutatavad ilma moonutusteta ja kadudeta. Konsultatsioonides turuosalistega on saanud selgeks, et täna turul vajadustele vastavat lahendusena pakutavat toodet ega teenust maa-aluste taristute paiknemise kohta 3D andmete kogumiseks ja haldamiseks ei ole.

Maailmaturul täna saadaolevad üksikud eraldiseisvad komponendid nagu digitaalne laserskaneerimine, georadarid, erinevad infosüsteemid ja andmetöötlusprogrammid on igaüks eraldiseisvana üha laiemalt igapäevasesse kasutusse jõudmas, kuid Tallinnale sobivat ja reaalselt toimivat terviklahendust ei ole olemas Eestis ega mujal maailmas.

Lisaks eraldiseisvate tehniliste komponentide Eesti tingimustele vastavaks tegemisele ja terviklikuks töövooks kokkupanemisele, on terviklahenduses suur osa ka nõuetel ja regulatsioonidel, mida kõik osapooled peavad omaks võtma. Seda kõike on vaja teha terviklikult ja koordineeritult, kaasates protsessi kõik puudutatud osapooled.

### 2.2 Projekti eesmärk

Käesoleva projekti eesmärk on kaasaegsetel tehnoloogiatel põhinev lahendus maa-aluste tehnovõrkude kolmemõõtmeliseks (3D) andmehõiveks, töötlemiseks ja kasutamiseks linnaruumi planeerimisel, arendamisel ja haldamisel. Projekti tulemusena hakkab linn ise hankima ja nõudma linnaruumis ehitustegevust teostavatelt ettevõtetelt kolmemõõtmelisi, nõuetele vastavaid ja tegelikke andmeid maa-aluste tehnovõrkude kohta.

Lahenduse loomise ja juurutamise ning andmehõive järel saavad linna allüksused kasutada terviklikku, ajakohast ja tegelikkusele vastavat maa-aluste tehnorajatiste 3D andmestikku. Projekti käigus loodud lahendusi on võimalik võtta kasutusele nii teiste omavalitsuste poolt kui ka kehtestada normina üleriiklikuks kasutuselevõtuks.

Loodud lahendus soodustab ka mudelprojekteerimise juurutamist igapäevapraktikas maa-aluste taristute rajamisel ning aitab otseselt kaasa ehitustegevuse lisandväärtuse suurenemisele. Selle tulemusena tekib uusi äri võimalusi olemasolevatele geodeesia ja projekteerimise ettevõtetele ning see loob tingimused ka uute ettevõtete ja äri valdkondade tekkeks.

### 2.3 Projekti ulatus

Käesolev projekt keskendub andmehõive ja andmehalduse tehniliste lahenduste otsimisele, katsetamisele ja väljapakkumisele. Samuti on projekti ülesanne välja töötada protsessid, mis tagaksid tervikahela toimimise ning mille abil kõik sidusrühmad saaksid protsessis osaleda ning omi eesmärke saavutada.

Projekti käigus tehakse küll ka töökorralduslike muudatuste ettepanekuid, kuid projekti tulemuse realiseerimiseks vajalike regulatsioonide muutmise ettepanekuid antud projekt ei sisalda. Kõik regulatsioonide muudatuse ettepanekud tellib Tallinna linn eraldi vastavat kompetentsi omavalt Lextal advokaadibüroolt.

## 2.4 Projekti etapid

Projekti kestvus oli kaks aastat ja see oli jaotatud järgnevateks etappideks:

### 1. etapp – Ettevalmistus

### 2. etapp – Andmehõive geofüüsikaliste vahenditega

GPR riistvara (georadar) testimine viidi läbi eesmärgiga hinnata georadarite sobivust, võimekust ja usaldusväärsust maa-aluste kommunikatsioonide uuringute läbiviimiseks. Lisaks hinnati, millist potentsiaalset lisaväärtust annab georadar terviklikule maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamise ja kaardistamise protsessile. Georadari uuringu lisanduv eesmärk oli erinevat tüüpi georadarite testimine, et mõista, millised on erinevate tüüpide võimalused ja puudused. Selleks valiti testimiseks võimalikult lai valik maa-aluste kommunikatsioonide kaardistamiseks sobivaid georadareid.

### 3. etapp – GPR tarkvarade testimine

GPR tarkvarade testimiseks valiti seitse valdkonna juhtivate tootjate andmetöötlustarkvara. Koostati terviklik ülevaate, mida GPR tarkvarad tänapäeval võimaldavad. Georadari tarkvarade testimist teostati projekti teises etapis andmehõivega kogutud toorandmete alusel.

### 4. etapp – Andmete analüüs 3D mudelite loomiseks

Teostati täiendavad väliuuringud puuduvate ja vastuoluliste andmete kontrollimiseks. Analüüsiti maa-aluste tehnovõrkude olemasolevat andmestikku ja selle kasutatavust 3D mudelite loomiseks ning 3D mudelite täpsuse ja üldistusastme vastavust seatud eesmärkidele. Kogutud maa-aluste tehnovõrkude andmete alusel loodi erinevad 3D mudelid ja koondmudel ning analüüsiti erinevaid visualiseerimise võimalusi.

### 5. etapp – Prototüübi loomine

Projekti viiendas etapis keskenduti tervikliku tehnoloogilise prototüübi lahenduse kokkupanemisele - milliste tehnoloogiatega ja kuidas toimub 3D andmehõive, kuidas andmed siirduvad 3D andmebaasi, kuidas andmeid hallatakse ning kuidas ja millistesse teenustesse need 3D andmebaasist välja liiguvad. Etapis käsitleti tervet andmehalduse protsessi.

### 6. etapp – Nõuete ja juhendmaterjalide koostamine

Analüüsiti olemasolevat andmehalduse olukorda ja toodi välja olulisemad muutmist vajavad teemad ning tehti konkreetsed muudatusettepanekud. Tehti ettepanekud kvaliteedi klasside ja uuringu tüüpide kasutusele võtmiseks ning koostati ettepanekud maa-aluste tehnovõrkude mõõdistamise vormistamisele

### 7. etapp – Sidusrühmade kaasamine ja projekti lõpparuande koostamine

Projekti tulemuste ja ettepanekute rakendamine mõjutab väga paljude ettevõtete ja asutuste koostööd. Selleks, et tutvustada sidusrühmadele projekti käigus välja töötatud lahendusi ning

koguda ettepanekuid ja arvamusi, toimus projekti käigus palju erinevaid kohtumisi sidusrühmade esindajatega.

#### **Projekti tutvustavad esitlused**

- Eesti Geodeetide Ühingu suveseminar, 14. septembril 2018.a.
- Eesti Geodeetide Ühingu kevadseminar 8. märtsil 2019.a.
- Eesti Kommunaalmajanduse Ühingu koolitus 26. märtsil 2019.a.
- Tallinna linna ja Tallinna Tehnikaülikooli töötuba „Tark Linn“ 1. märtsil 2019.a.
- Digitaalehituse klasteri töötuba 2. juulil 2019.a.

#### **Georadarite esitlused**

- 14. juuni 2018.a. – Itaalia ettevõtte IDS GeoRadar s.r.l seadmete esitlus Vesivärava tänaval
- 12. juuli 2018.a. – Rootsi ettevõtte Guideline Geo AB seadmete esitlus Vesivärava tänaval
- 21. märts 2019.a. – Rootsi ettevõtte ImpulseRadar AB seadmete esitlus Viru väljak 3 juures

#### **Projekti ümarlaua koosolekud**

- Tallinna Linnavalitsuse residentsis 27. mail 2019.a. toimunud koosolekul osalesid geodeesia ja projekteerimise ettevõtete esindajad. Kokku oli koosolekul 21 osavõtjat.
- Tallinna Linnavalitsuse residentsis 28. mail 2019.a. toimunud koosolekul osalesid taristute ehituse ettevõtete esindajad. Kokku oli koosolekul 16 osavõtjat.

#### **Kohtumise tehnovõrkude valdajatega**

Eraldi kohtuti peamiste tehnovõrkude valdajatega Tallinnas. Mõne tehnovõrgu valdajaga toimus mitmeid kohtumisi. Suuremad tehnovõrgu valdajad, kellega kohtuti:

- Telia Eesti AS
- Elering AS
- Elektrilevi OÜ
- Tallinna Küte AS
- Eesti Gaas AS
- Tallinna Vesi AS
- Eesti Vee ettevõtete Liit

#### **Projekti lõpparuannet tutvustavad seminarid**

- Teisipäeval, 6. augustil 2019.a. toimus seminar Tallinnas, Technopolises, Öpiku Konverentsikeskuses.
- Neljapäeval, 8. augustil 2019.a. toimus seminar Tartus, SPARK Demokeskuses.

## **3. OLEMASOLEV OLUKORD**

### **3.1 Probleemi püstitus**

Maa-aluste tehnovõrkude kohta puuduvad Tallinnas tõesed, piisavad ja usaldusväärsed andmed, millest tulenevalt on:

- Otsene oht ehitajate ja ehituspiirkonnas viibivate inimeste elule ja tervisele;

- Potentsiaalne materiaalne kahju;
- Ehitustööde projektide muudatused ja tööde kallinemine;
- Ehitustööde mittetähtaegne valmimine;
- Ei ole võimalik luua 3D andmemudelit ega üle minna mudelprojekteerimisele;
- Ei ole võimalik kasutada innovatiivseid ehitustehnoloogiasid.

Tallinnas tehtavate ehitusuuringute läbiviimise meetodid ning mõõdistamiseks kasutatavad seadmed ja tehnoloogiad ei võimalda koguda, töödelda ega kasutusse anda vajaliku detailsuse ja täpsusega maa-aluste tehnorajatiste andmestikku.

Mõõdistustööde tulemusel saadav andmestik ei vasta täpsusnõuetele, ei ole terviklik ega usaldusväärne. Tänu sellele ei ole saada tegelikkusele vastavat 3D linnaruumi mudelit ning seeläbi juurutada BIMi ega kasutada uusi tehnoloogiasid uuringute teostamisel.

Praegune olemasolev andmestik on küll suures osas digitaalne, kuid selles sisalduvate vigade hulga ja terviklikkuse puudumise tõttu praktikas kasutamiseks sobimatu järgmistel põhjustel:

- kogutav ja hallatav asukohaandmestik on valdavalt plaaniline (2D), puuduvad maa-aluste objektide mõõtmed ja sügavusinfo (3D);
- maa-aluste taristute omanikel on üldjuhul oma taristu asukoha info olemas vaid 30% kuni 80% kogu omandis oleva võrgu kohta;
- esineb maa-aluseid taristuid, mille omanik on teadmata või omanik ei tea, et taristu antud piirkonnas üldse olemas on;
- kui digitaalne andmestik on olemas, on see sageli sisuliste vastuoludega, ebapiisava täpsusega ega ole sobiva tulemuse saamiseks kasutatav;
- olemasolev asukohainfo on ühe ja sama piirkonna erinevate taristuliikide puhul kardinaalselt erinevates täpsuskategooriates ja detailsuses;
- digitaalkujul levitatav taristu andmestik on küll kasutatav, aga selle tegelikkusele vastavus on väike ning selle õigsust väga keeruline kontrollida.

Maa-aluste taristute õigete ja usaldusväärsete andmete olemasolu ning kasutamine on oluline kõigis ehitustegevuse etappides, alates planeerimisest, projekteerimisest kuni tööde valmimiseni ja igapäevase haldamise teostamiseni. Taristute paiknemise andmete teema on olnud arutusel juba aastaid, et leida seniste kogemuste ja koostöö kaudu majanduslikult mõistlik ja osapooltele sobiv lahendus. Paraku ei ole siiani veel toimivat lahendust loodud.

### 3.2 Geodeetiliste alusplaanide ja teostusjooniste kvaliteet ja usaldusväärsus

Maa-aluste tehnovõrkude uuringuid teostavad peamiselt geodeetid, kes lähtuvad tööde läbiviimisel Majandus- ja taristuministri määrusest „Topo-geodeetilisele uuringule ja teostusmõõdistamisele esitatavad nõuded“ (vastu võetud 14.04.2016 nr 34, edaspidi määrus). Määruse nõuded ei ole piisavad maa-aluse tehnovõrgu tegeliku 3D asukoha tuvastamiseks, dokumenteerimiseks ega 3D mudeli loomiseks. Lisaks ei täideta uuringute teostamisel määruse nõudeid maa-aluste tehnovõrkude osas sellisel määral, mis võimaldaksid hankida, töödelda, hallata ja kasutada täpseid ning piisavaid tehnovõrkude ruumiandmeid.

Projekti raames uuriti, kuidas viiakse praktikas läbi topo-geodeetilisi uuringuid ja teostusmõõdistamisi, millise kvaliteedi ja täpsusega on olemasolevad andmed maa-aluste tehnovõrkude osas ning teostati pistelist geodeetiliste alusplaanide ja teostusjooniste kontrolli. Selle tulemusena leiti olulisi puudusi nii määruse normides kui määruse täitmisel uuringute läbiviimisel.

Alljärgnevalt on toodud välja peamised tähelepanekud:

### 3.2.1 Uuringute olulisust ei eristata

Määruse nõuded kehtivad kõikidele uuringutele ühtemoodi. Samasugused nõuded kehtivad geodeetilistele uuringutele nii Tallinna peatänavade projekteerimiseks, kus on kümneid maa-aluseid tehnovõrke, kui ka maapiirkonnas hoone rajamiseks, kus maa-alused tehnovõrgud puuduvad. Sellest tulenevalt täidetakse paljudes uuringutes määruse norme üksnes formaalselt, mis tähendab, et tegelikult kontrolli ega mõõdistust ei teostata ning see devalveerib määrust ja seab kahtluse alla kõikide uuringute usaldusväärsuse. Määrusega on jäetud küll võimalus tellijapoolse lähteülesandega lisauuringuid tellida või uuringu koosseisust näiteks kaevude uurimine üldse välja jätta.

### 3.2.2 Ruumiandmete päritolu ja täpsusklass teadmata

Määruse kohaselt kantakse geodeetilisele alusplaanile maa-aluste tehnovõrkude ruumiandmed olemasolevatelt plaanidelt, teostusjoonistelt, skeemidelt ning samuti välimõõdistuste tulemuste alusel. Joonisel ei ole võimalik eristada, mille alusel üks või teine joon alusplaanile tekkis. Geodeetilisele alusplaanile kantud maa-aluste tehnovõrkude andmete päritolu ja täpsust ei ole tegelikult võimalik joonistelt välja lugeda. Ainuke eristus, mida on võimalik täpsuse kohta joonisel välja lugeda on kiri „ORIENT“, mis tähendab seda, et antud joon joonisel on kindlasti ebatäpne. Samuti kasutatakse tingmärki, mis tähistab trassi mittetöötamist või kasutusest kõrvaldamist. Geodeetilisel alusplaanil ei kajastu olemasolevate võrkude kaevude ja torustike tehnilised andmed (kaevu läbimõõt, materjal, sügavus, toru materjal, läbimõõt ja sügavus jne). Alusplaanile kantakse ainult kaevude numbrid ning kaevude ja torustike tehnilised andmed koostatakse eraldi Exceli tabelis. Tabelis on veerg ka andmete päritolu kohta. Seda kasutatakse viitamaks, kas kaevu andmed on saadud mõnest varasemast uuringust või on teostatud kaevude uurimine antud töö käigus. Kuna geodeetilise alusplaani joonisel pole võimalik joonte päritolu kohta infot saada, siis tegelikult ei ole teada ka nende joonistele kantud võrkude vanust. Vanus annaks infot võrgu rajamise meetodi kohta, millest tulenevalt oleks võimalik eeldada maa seest vastu vaatavat olukorda.

### 3.2.3 Geodeetiline alusplaan ei kajasta tehnovõrgu tegelikku paiknemist

Määruses on toodud nõuded, kuidas kajastada erinevaid maa-aluseid tehnovõrke ja nende osi 2D joonistel. Nendest nõuetest lähtuvalt kujutatakse maa-aluseid tehnovõrke telgede skeemina, mitte tegeliku paiknemise järgi. Samuti on teostusjoonistel informatsiooni oluliselt rohkem, kui määruse normid nõuavad geodeetiliselt alusplaanilt. Näiteks on korrektselt vormistatud teostusjoonistel olemas info sügavuse, kaitsetorude ja markerpallide kohta, kuid seda infot geodeetilisele alusplaanile ei kanta. Selle tulemusena läheb kaduma oluline info maa-aluste tehnovõrkude kohta. Kuna määrus otseselt ei nõua, siis ei sisalda geodeetilised alusplaanid infot maa-aluste kaitserajatiste kohta. Joonistele ei kanta maa-aluste võrkude kaitseplaate ja künasid. Tihti lihtsalt ei teata nende olemasolust või peetakse seda ebaoluliseks või loomulikuks, et näiteks soojustorustikud rajati „nõukogude liidu ajal“ betoonist künadesse. Neid alusplaanile ei kanta, samas see info on tihti kajastatud teostusjoonistel. Ka on probleem era- ja juriidilistele isikutele (mitte võrguettevõtetele) kuuluvate võrkudega, mille kohta puudub üldse teadmine nende olemasolust ja sellest tulenevalt ka nende paiknemisest. Neid võrke ei kajastata ühelgi teostusjoonisel ega geodeetilisel alusplaanil.



### 3.2.4 Andmehõivel ei kasutata kaasaegset tehnoloogiat

Määrusega on sätestatud nõuded maapealsete objektide positsioneerimisele, kuid ei ole nõudeid ega isegi soovitusi maa-aluste tehnovõrkude tegeliku kolmemõõtmelise asukoha määramiseks, välja arvatud lahtise kaevikuga teostusmöödistus. Geodeetilisele alusplaanile kantud trasside asukohti tuleb määruse kohaselt kontrollida pisteliselt, aga ei ole sätestatud, kuidas või millise tehnoloogiaga. Trassiotsijat (EM) on mainitud määruses ühel korral, georadarit ei ole mainitud kordagi. Seega ei kohusta määrus teostajat välitööde käigus tuvastama tehnovõrgu tegelikku asukohta kaasaegseid tehnoloogiaid kasutades.

### 3.2.5 Andmeid kirjeldatakse, säilitatakse ja väljastatakse erinevates formaatides ja täpsustes

Tehnovõrguomanikud on kehtestanud erinevaid nõudeid võrkude dokumenteerimiseks ja nad ka hoiavad andmeid erinevalt. Samuti väljastavad nad andmeid geodeedile erinevalt.

- Telia ja Elektrilevi väljastavad andmeid möödistuspiiri alusel:
  - Telia – Kirjeldab andmed oma GIS süsteemis ja väljastab andmed samuti tehtud kirjeldusest. Väljastatakse kõige värskem ja viimasem võrgukirjeldus GIS süsteemist geodeedile sobivas joonise formaadis. Sealjuures on probleemiks see, et täpne teostusjooniselt pärinev info ja geodeetiliselt alusplaanilt pärinev mitte nii täpne info väljastatakse kõik koos 1 m täpsusena. Telia sisekorra eeskirjade järgi ei tohi väljastada digitaalselt originaalteostusjooniseid. Kui Telia on oma süsteemis kirjeldanud kolmanda isiku trasse, siis ka see info väljastatakse, aga sellel puudub igasugune täpsuse märkus.
  - Elektrilevi – Kasutab teostusjooniseid samuti oma GIS süsteemi laadimiseks, aga andmed väljastab samade teostusjoonistena, mis geodeedid neile on esitanud. Andmeid väljastatakse ka võrgu skeemidena ja paber kandjatelt digitaliseeritud piltidena.
- Gaasivõrgud – Kasutab teostusjooniste andmeid oma GIS süsteemides ja väljastab andmeid sarnaselt Elektrilevile geodeedi koostatud teostusjoonistena.
- Tallinna Küte – Väljastab andmeid, kui on olemas geodeedi tehtud teostusjoonised. Kui andmed on vanad või puuduvad, siis väljastatakse pdf formaadis skeem võrguvaldaja GIS süsteemist.
- Tallinna Vesi – On loonud erinõuded vastuvõetavatele teostusjoonistele. Võtab vastu geodeedi teostusjoonised, kasutab neid oma GIS süsteemides võrkude kirjeldamiseks. Väljastab geodeetidele andmeid ainult siis, kui need on tulnud geodeetide tehtud teostusjoonistelt. Andmebaasides kirjeldatud tervikvaadet ei väljasta.
- Väiksematel võrguvaldajatel puudub võrgukirjeldamise ja võrgus tehtavate muudatuste haldamise süsteem (GIS/NIS) üldse, mistõttu väljastatakse tihti puudulikke andmeid.

### 3.2.6 Sageli puudub vajadus täpsete andmete järele

Geodeetilise alusplaani koostamisel, mis on aluseks ühe konkreetse objekti rajamiseks, on vaja täpseid ruumandmeid maa-aluste tehnovõrkude osas ainult kohas, kus need võivad otseselt jääda ehitusele ette. Samuti on vaja teada täpseid liitumiskohti, kui on vaja nende tehnovõrkudega liituda. Samas koostatakse geodeetiline alusplaan suuremale alale ning sinna joonistatakse peale kõik teadaolevad maa-alused tehnovõrgud, mis sellele maa-alale jäävad. Kuna need otseselt ette ei jää, siis nende tõelus ja ruumandmete täpsus ei ole selle töö raames olulised ning neid ei kontrollita. Selle tulemusena esitatakse geoarhiivi kontrollimata ja potentsiaalselt ebatäpsete ruumandmetega geodeetiline alusplaan.

### 3.2.7 Eelarve ja ajakava ei võimalda täpseid ruumiandmeid

Olemasolevad ruumiandmed (Tallinna Geoveeb, Maa-amet jt) maa-aluste tehnovõrkude kohta ei ole täpsed ega täielikud. Seepärast tähendab täpsete ruumiandmetega geodeetilise alusplaani koostamine suurt mahtu välitöid, hiljem kõikide andmete töötlust ning üheks geodeetiliseks alusplaaniks kokkupanemist. See töö on kallis ja aeganõudev. Tänaused geodeetiliste tööde hinnad ja tähtajad, millega geodeedid geodeetilisi alusplaane teevad, ei saagi võimaldada täpsete alusplaanide koostamist.

### 3.2.8 Puuduvad oskused ja kogemused

Täpsete ja tegelike andmete kogumine maa-aluste tehnovõrkude kohta nõuab paljude erinevate meetodite ja tehnoloogiate kasutamist. Selleks, et välitööde käigus saaks kogutud piisavalt andmeid, tuleb kasutada koos trassiotsijat (EML), georadarit, positsioneerimise seadmeid ja viia läbi kaevude uuringuid. Enamus geodeetidel täna kõiki neid oskusi (nt EML-i või georadari kasutus) ei ole.

### 3.2.9 Tellijad ei nõua täpsete ruumiandmetega geodeetilisi alusplaane

Ebatäpseid geodeetilisi alusplaane võetakse kui paratamatust. Geodeedid väidavad, et esitatud alusplaanid on parimad võimalikud. Tellijad ei tea, et kasutades kaasaegseid tehnoloogiaid ja meetodeid on võimalik koostada täpseid geodeetilisi alusplaane. Kuna alusplaani tellija on üldjuhul projekteerimisfirma, kes on võitnud selle töö vähempakkumise käigus, siis isegi teades nendest võimalustest, ei võimaldaks tema eelarve uuringu mahust tulenevat kallimat, kuid kvaliteetset tööd tellida.

### 3.2.10 Vastutus ruumiandmete puudumisel

Geodeetilise alusplaani ja teostusjoonise täpsuse eest vastutab üldjuhul selle koostanud geodeet. Maa-aluste tehnovõrkude asukoha täpsuse eest vastutab selle tehnovõrgu omanik, kes peaks esitama geodeedile täpsed ruumiandmed. Paljudel võrguettevõtetel puuduvad täpsed ruumiandmed oma maa-aluste tehnovõrkude kohta ning antakse või kooskõlastatakse ebatäpseid andmeid või täpsustatakse andmeid geodeetide raha eest. See tähendab, et alusplaani kooskõlastamise käigus müüakse geodeedile trassi asukoha EM-iga kättenäitamise teenust. Lisaks on levinud sellised maa-alused elektrikaablid, mis on mõeldud mõne objekti teenindamiseks, kuid ei kuulu elektrivõrgu võrguettevõttele. Näiteks kliendiliinid elektrivõrgu liitumispunktide ja lõpptarbivate vahel, vee ja kanalisatsiooni pumplate toitekaablid, sidevõrgu aktiivkapi toitekaablid jne. Sageli ei ole nende kohta teostusjooniseid tehtud. Kui nende maakasutust ei ole ka seadustatud, siis kuuluvad need seaduse järgi kinnistu omanikule (nt kohalikule omavalitsusele), kuid kinnistu omanikul puudub info nende olemasolu kohta. Isegi kui maa-aluse tehnovõrgu kohta on tehtud selle rajamisel täpne teostusjoonis, võib teede rekonstrueerimise käigus ehitaja muuta selle asukohta ning sageli tehtud muudatusi ei dokumenteerita. Seetõttu ei kajasta võrgu rajamisel koostatud teostusjoonis enam tegelikku olukorda ja võrgu omanikuni vastav informatsioon ei jõua.

### 3.2.11 Vale vastutus teostusjooniste koostamisel

Uue objekti rajamisel või olemasoleva rekonstrueerimisel ja asukoha muutmisel tuleb koostada teostusjoonis, mis kajastab täpselt uut olukorda. Teostusjooniste tellijaks geodeedilt on peaaegu alati ehitaja. Ehitaja on huvitatud, et objekt saaks kiiresti üle antud ega selguks suuri erinevusi projekti ja tegeliku ehituse vahel jne. Ehitaja ei vastuta üheski etapis teostusjoonise andmete täpsuse eest. Sellest tulenevalt ei kajasta teostusjoonised tihti tegelikku olukorda, vaid on projektide ümberjoonistused või kinnise kaevikuga mõõdistatud ehitaja seletused. Selleks, et tekiks huvi luua täpset teostusjoonist, ei tohi selle tellijaks olla ehitaja, vaid ehitustöö tellija esindaja, kes kontrollib ehitaja tööd – omanikujärelevalve. Omanikujärelevalve esindab võrguomaniku või kinnistu omaniku huve ning seeläbi on huvitatud, et teostusjoonis kajastaks täpselt tegelikku olukorda ning sinna oleks kantud täpsed ruumiandmed.

### 3.2.12 Tehnovõrgu omaniku huvi puudus

Tänases situatsioonis hoitakse raha kokku kvaliteedi arvelt nii geodeetiliste alusplaanide kui teostusjooniste tegemisel. Praeguse regulatsiooni kohaselt võidavad ebakvaliteetselt tööst rahaliselt projekteerija ja ehitaja ning lõpuks ehituskulu kokkuhoiu näol ka tellija ehk tehnovõrgu omanik. Hiljem, kui ehitatud trasside ruumiandmeid vajavad teised subjektid, viitab tehnovõrgu omanik andmete puudulikkusele ning teenib lisatulu kooskõlastuste ja täiendavate uuringute pealt. Tehnovõrgu ehituse tellija vastutust tehnovõrkude tõeste ruumiandmete dokumenteerimisel on vaja tõsta. Vajalik on muuta regulatsioone viisil, mis kohustab tehnovõrgu omanikku kandma kõik objektide (sh teede ja tänavate) planeerimis- ja projekteerimistöde käigus maa-aluse tehnovõrgu asukoha selgitamisega seotud kulud.

### 3.2.13 Sidevõrkude rekonstrueerimine

Seadus lubab rekonstrueerida sidevõrke ilma, et tuleks koostada geodeetilist alusplaani, projekti ja teostusjoonist. Samuti ei ole vajalik maakasutuse uuesti seadustamine. Seda seadust ära kasutades, rajatakse tänapäeval massiliselt uusi valguskaablivõrke vanade vaskaablite asemele. Uusi kaableid ei panda vanade kaablite asemele, vaid nende lähedusse mõne meetri ulatuses. Sellise rekonstrueerimise tulemusel tekivad uued sidevõrgud, mille asukoha kohta puudub tegelik informatsioon.

### 3.2.14 Ebatäpsete andmete taaskasutus

Geodeetiliste alusplaanide koostamine on peamiselt olemasolevate andmete taaskasutus, teadmata sealjuures nende andmete päritolu, usaldusvärsust ja täpsust. MKM määruse §28 sätestab maa-aluse tehnovõrgu mõõdistamise korra. Selle kohaselt tuleb andmeid saada tehnovõrgu välimõõdistamisest, kaevu uurimisest, varasematest teostusmõõdistustest ja tehnovõrgu omaniku käest.

Tulenevalt ajalisest ja rahalisest survest ning muudest ülaltoodud põhjustest, ei teostata tegelikku välimõõdistust maa-aluste tehnovõrkude osas ega tehta piisavat pistelist kontrolli, vaid usaldatakse juba varasemalt digitaalselt toodetud andmeid. Sellisele tegevusele viitab mistahes kohas teostatud geodeetilise alusplaani väljavõte Tallinna Geoveebist. Kui võrrelda Geoveebi jooniseid samas piirkonnas, siis ca 80-90% ulatuses kattuvad nendes olevad elemendid (nii maapealsed kui maa-alused) täielikult. See omakorda näitab, et realselt uuesti mõõdistatakse ja täpsustatakse väga vähe kogu töö mahust. Sageli ei sisalda arhiividesse esitatud joonised üldse mõõdistamisel tekkivaid mõõdistusandmeid.

### 3.3 Olemasolev olukord andmehalduses

Maailma praktikast on teada, et on kasutusel erinevad viisid tehnovõrkude informatsiooni haldamiseks ja teabenõuetele vastamiseks:

- Informatsiooni hoiab vajalik mahus omavalitsus
- Informatsiooni hoiab erafirma
- Informatsiooni vahendab erafirma, kogudes teabenõudele vastamiseks informatsiooni trassivaldajatelt vastavate lepingutega sätestatud mahus

Põhiline probleem on selles, et trassivaldajad ei ole huvitatud oma informatsiooni usaldamisest võõrastesse kättesse, võimaldades nii ärisaladuste leket. Eestis koguvad ja haldavad atribuutandmeid trassivaldajad mahus ja viisil, mida on neil vaja oma ülesannete täitmiseks ja mis nõuab minimaalselt kulutusi. Andmete väljastamine sõltub erinevate trassivaldajate poolt kehtestatud reeglitest. Selliste ülesannete lahendamiseks, mis nõuavad erinevate trasside andmete ja asukohtadega arvestamist, on kasutusel kooskõlastamiste süsteem.

Uuringute teostajad peavad esitama digitaalse maa-ala plaani ning uuringu aruande nii tellijale, ehtisregistrile kui ka kohalikule omavalitsusele. Kohalikel omavalitsustel on vajadus omada ülevaadet ja menetleda oma haldusterritooriumil tehtavaid geodeetilisi töid. Geodeetilised tööd jagunevad kaheks: projekteerimiseelsed uuringud ja ehitusjärgsed teostusjoonised. Eelpool nimetatud tööde teostamisel juhendatakse MKM nõuetest. Uuringute ja mõõdistustööde käigus selgitatakse välja eelkõige maa-aluste tehnovõrkude olemasolu, asukoht ning kõrgusandmed. Uuringute lähteandmed sisaldavad ka erineval hulgal atribuutandmeid, mida on võimalik teatud määral uuringute käigus täpsustada. Kõige kvaliteetsemad atribuutandmed saadakse avatud kaevikuga teostusjooniste tegemise käigus.

#### 3.3.1 Olukord Tartus

Tartus on geodeetiliste tööde haldamiseks arendatud veebipõhine tööde halduskeskkond „Tartu Geoarhiiv“. Geoarhiiv rakendati 2011. aasta lõpust. Geoarhiivi eesmärgiks on tööde menetlus ja saada terviklik koondplaan mõõdistatud objektidest koos metainfoga, mida oleks võimalik kasutada linnas erinevate ülesannete täitmiseks. Loodud tervikpilti kasutavad maamõõtjad uute mõõdistuste alusandmetena.

Tartu Geoarhiivis hallatakse põhiliselt geodeetilisi alusplaanide ja teostusjooniseid, lisaks on võimalik hallata ka andmekorrastus-, ehitusgeoloogia- kui ka katastrimõõdistustöid. Kogu andmevahetus toimub veebirakenduse kaudu. Koondplaanide andmeid hoitakse andmebaasis. Geoarhiivi kasutajad on geodeedid ja linnaametnikud. Lisaks on antud vaatajaõigusi ka kolmandatele osapooltele nagu Maaamet ja erinevad trassivaldajad. Kasutajatel on vastavalt rollile erinevad õigused. Kasutajate haldus on teostatud läbi X-tee. Geoarhiivis lisatakse ettevõtte ja ettevõtte volitatud isik lisab teostajad eesti.ee portaali vahendusel. Võimalik on menetleda ka piiratud juurdepääsuga alasid, mis on mõeldud sensitiivse info haldamiseks Tartu linnas. Samuti on realiseeritud tööde lukustamine kattuvate tööpiirkondade ja nendes sisalduvate elementide haldamiseks. Geoarhiivi andmebaasis kajastatakse kahemõõtmelisi (2D) asukohaandmeid. Tehnovõrkude tehnilisi andmeid ei hallata.

### 3.3.1.1 Protsess

Protsessi alustab maamõõtja, kes esitab uue mõõdistustöö taotluse. Süsteemis menetletakse järgmist tüüpi töid:

- Teostusmõõdistus
- Geodeetiline alusplaan
- Andmekorrastustöö
- Ehitusgeoloogia
- Katastrimõõdistus

Geodeetide poolt registreeritud tööpiiride alusel väljastatakse geoarhiivist järgmisi andmeid:

- Teostusjoonised
- Geodeetilised alusplaanid
- Koondplaan

Enne jooniste vastuvõtmist kontrollitakse automaatselt jooniste vormistuse vastavust MKM nõuetele. Vigade esinemisel tuleb töö esitajal parandada kontrollsüsteemi poolt tuvastatud vead. Peale vigade parandamist laeb töö esitaja joonise andmebaasi vahelihale. Joonise laadimisel vahelihale võrreldakse automaatselt joonises ja põhibaasis olevaid andmeid samas piirkonnas. Veebikaardil saab vaadata vahelihale laetud lisatud, mitte muudetud ja kustutatud elemente erinevate värvidega. Ametnikul on võimalik vahelihil teha väiksemaid geomeetriate parandusi. Peale töö esitamist on omavalitsuse töötajal võimalik töö tagasi lükata. Kui läbivaatuse tulemused on rahuldavad, võetakse töö vastu (registreeritud olek) ning laetakse elemendid vahelihilt põhibaasi. Seejuures kustutatakse põhibaasist kõik piirkonna elemendid, mis puuduvad joonises või ei paikne joonise elementidega samas asukohas. Põhibaasi lisatakse uued elemendid sealhulgas elemendid, mille asukoht on muutunud võrreldes põhibaasi aktuaalse seisuga. Joonise elemendid, mille asukoht langeb kokku põhibaasi elementide asukohaga, jäetakse muutmata.

Tartu Geoarhiivi võetakse vastu jooniseid järgmistes formaatides:

- DWG (versioonid R10 kuni 2013)
- DGN V8

Andmebaasi väljavõttena väljastatakse koondplaan järgmistes formaatides:

- DWG
- DGN V8
- MID/MIF
- SHAPE

Lisaks koondplaanile on geodeedil võimalik alla laadida kõik töö piirkonda jäävad originaalfailid. Kõik andmebaasi objektid on seotud tööga, mis võimaldab mugavalt liikuda andmebaasi objektilt tagasi originaaldokumendile. Objektide kirjeldus andmebaasis vastab MKM nõuetele. Tartu Geoarhiivis on kasutusel järgmised põhikomponendid:

- Andmebaas – PostgreSQL/PostGis (vabavara)
- Kaardiserver – Geoserver (WMS/WFS) teenused (vabavara)
- FME – Andmete kontroll, import ja eksport (litsentseeritud)

### 3.3.1.2 Andmed

Tartu linn saab tehnovõrkude andmeid erinevate võrguomanike käest. Andmed uuenevad erineva sagedusega, on koosseisult ebaühtlased ja esitatakse erinevas formaadis.

Võrk	Ettevõtte	Väljavõtte viis	Objektid
Elekter	Elektrilevi OÜ	Ühekordse väljavõttena (võrguvaade ja asukohavaade)	Tehnosõlmed, liinid
Tänavavalgustus	Tartu Linnavalitsus	WMS teenus	Andmed puudulikud
Vesi ja kanalisatsioon	AS Tartu Vesi AS Emajõe Veevõrk	Kord aastas	Tehnosõlmed, torustik
Gaas	Gaasivõrgud AS Tarbegaas OÜ Varmata AS Adven Eesti AS jt	Erinev	Tehnosõlmed, torustik
Kaugküte	AS Fortum	Kord aastas	Tehnosõlmed, torustik
Side (WMS)	Maa-amet	Kitsenduste kaart	Trassid

Tabel 1. Andmed tehnovõrkude valdajatelt

### 3.3.2 Olukord Tallinnas

Tallinnas on kasutusel geodeetiliste tööde haldamiseks veebipõhine tööde menetluskeskkond „Geoveeb - Tallinna geomöödistuste infosüsteem“. Kasutusel olev süsteem on loodud 2004. aastal Tarkvarastudio OÜ poolt. Süsteem on plaanis lähitulevikus uue ja kaasaegsema süsteemi vastu välja vahetada. Hetkel on uus süsteem arenduse staadiumis. Tallinna linn kasutab kõikidest tehnovõrkudest ülevaate saamiseks linna tehnovõrkude koondplaani, mis kajastab kõikide ehitiste, rajatiste ja tehnovõrkude asukohaandmeid mõõtkavas 1:500. Koondplaani uuendatakse/muudetakse mõõdistustööde menetluse käigus. Koondplaani hoitakse ja hallatakse 1:2000 kaardilehtedena MicroStation DGNV8 formaadis. Kõik koondplaani elemendid lingitakse Tag elementide abil Geoveebi tööga. See võimaldab mugavalt avada töö, millelt element on koondplaanile kantud.

#### 3.3.2.1 Protsess

Tallinna geomöödistuste süsteemi funktsionaalsus on põhiliselt keskendunud tööde menetlemisele ja MKM nõuete vastavuse kontrollimisele. Protsessi alustab maamõõtja, kes esitab uue mõõdistustöö taotluse veebirakenduse kaudu. Vormi täites on oluline lisada asukoht kaardil. Vormi salvestamisel tekitatakse uus taotlus. Geodeetilise uuringu puhul vaatab taotluse üle ametnik, kes väljastab mõõdistusloa. Teostusjooniste korral väljastatakse mõõdistusloa automaatselt. Pärast mõõdistusloa

väljastamist on võimalik täitjal alla laadida töö piirkonnaga seotud varasemad geodeetiliste uuringute ja teostusmöödistuste failid.

Tallinna geomöödistuste infosüsteemis on kasutusel automaatne kontrollsüsteem, mis kontrollib jooniste vormistuse vastavust MKM nõuetele. Tööde esitamisel tehakse automaatkontroll ja salvestatakse vigade raportid esitatud töö juurde. TLPA ametnik vaatab töö üle, võrdleb koondplaaniga ja registreerib töö. Registreeritud tööd on võimalik tagasi lükata ka koondplaani täiendamisel tuvastatud puuduste korral. „Tagasi lükatud“ olekus töö tuleb töö teostaja poolt parandada ja uuesti esitada. Tallinna geomöödistuste infosüsteemi võetakse vastu jooniseid järgmistes formaatides:

- DWG (versioonid R10 kuni 2013)
- DGN V8

Koondplaani väljastatakse erijuhul DGN V8 formaadis.

### 3.3.2.2 Andmed

Tallinna linn saab tehnovõrkude andmeid erinevate võrguomanike käest. Andmed uuenevad erineva sagedusega, on koosseisult ebaühtlased ja esitatakse erinevas formaadis.

Võrk	Ettevõtte	Väljavõtte viis	Objektid
Elekter	Elektrilevi OÜ	Ühekordse väljavõttena	Tehnosõlmed, liinid
Elekter KP	Elering AS	Ühekordse väljavõttena	Tehnosõlmed, liinid
Tänavavalgustus	Keskkonna- ja Kommunaalamet	Igakuine	Mastid, alajaamad, liinid
Vesi ja kanalisatsioon	AS Tallinna Vesi	Kord kvartalis	Tehnosõlmed, torustik
Gaas	Eesti Gaas AS	Kord kvartalis	Tehnosõlmed, torustik
Küte	AS Tallinna Küte	Kord kvartalis	Tehnosõlmed, torustik
Kaugküte	Adven Eesti AS	Ühekordse väljavõttena	Tehnosõlmed, torustik
Side (WMS)	AS Eesti Telekom	jooksev	

Tabel 2. Andmed tehnovõrkude valdajatelt

### 3.3.3 Kokkuvõtte hetkeolukorrast Tallinnas ja Tartus

Nii Tallinnas kui ka Tartus väheneb andmete täpsus ajas, kuna toimub teostusjooniste abil kogutud info asendumine geodeetilistel alusplaanidel esitatud informatsiooniga. Tartu ja Tallinna kõige suurem tehnoloogiline erinevus seisneb koondplaani haldamises. Tartus hoitakse andmeid andmebaasis objektidena ning Tallinnas DGN failidena 1:2000 kaardiruudustiku kaardilehtedena. Koondplaanide haldamine on keskendunud nn tervikpildi loomisele, mitte objektide haldamisele. Mõlemas süsteemis toimub andmete haldamise käigus tööpiirkondades oleva info asendamine uue geodeetilise alusplaani

infoga. Uus info kirjutab vana info üle. Lisaks põhjustab kasutusel olev metoodika tehnovõrkude tükeldamise (iga uus töö tükeldab objekte).

Tallinn ja Tartu teevad koostööd tehnovõrkude valdajatega. Tehnovõrgu valdajatelt saadud andmed on väga erineva detailsuse ja kvaliteediga. Ühe probleemina saab välja tuua, et tehnovõrkude valdajad ei pea tehnovõrkude geodeetilise täpsusega paiknemist oluliseks. Pigem kasutatakse igapäevasteks toimetamisteks GIS/NIS süsteemides skemaatilist võrgu vaadet.

Tallinna ja Tartu linnavalitsused vajavad tehnovõrkude andmestikku eelkõige linnaplaneerimise ülesannete täitmiseks. Tehnovõrkude täpne paiknemine on oluline järgmiste ülesannete lahendamiseks:

- Elementide ruumilise ulatuse määramine lõhkumiste vältimiseks;
- Uute trasside paigaldusvõimaluste hindamiseks ja planeerimiseks;
- Alusandmete väljastamine uuringuteks ja projekteerimiseks.

## 4. ANDMEHÕIVE JA ANDMEHALDUS

Andmehõive ja -halduse protsess jaguneb erinevateks etappideks:



Joonis 2. Andmehõive ja -halduse protsessi etapid

Protsessi kavandamisel on lähtutud lahendamist vajavatest ülesannetest ja nende prioriteetidest:

- Võimaldada usaldusväärne 3D alusinfo planeerimis- ja projekteerimistööde jaoks
- Vältida ootamatusi ehitus- ja kaevetöödel ja tagada nii nende plaanipärane kulgemine
- Tagada olemasolevate tehnovõrkude terviklikkuse säilimine ehitus- ja kaevetöödel
- Tagada kogutud 3D andmete ajakohasus
- Tagada kogutud 3D andmete usaldusväärsuse säilimine
- Vähendada samade maa-aluste rajatiste korduvate uuringute vajadust
- Tagada tehnovõrkude andmestiku masinloetavus

### 4.1 Andmehõive tehnoloogiad ja meetodid

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine on komplitseeritud, kuna neile puudub suuremas osas nii füüsiline kui ka visuaalne juurdepääs. Kuigi viimastel aastatel on tehnoloogiad kiiresti arenenud, ei ole olemas ühte täiuslikku tehnoloogiat, mis suudaks tuvastada, visualiseerida, kaardistada ja kirjeldada kõik maa-alused tehnovõrgud.

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine on võimalik, kui kasutada mitme erineva geofüüsika ja geodeesia tehnoloogia kombinatsiooni ning komplektset andmehõive protsessi. Selle tulemusena saadakse maa-alustest tehnovõrkudest terviklik andmekogum, mida saab kasutada erinevates GIS ja CAD tarkvarades.



Linnakeskkonnas, kus on palju paralleelseid, ristuvaid ja kattuvaid maa-aluseid tehnovõrke, ei piisa tervikpildi saamiseks ainult geofüüsikaliste seadmetega metoodilisest andmete kogumisest. Vaja on teada erinevate maa-aluste tehnovõrkude topoloogiat ja rajamispõhimõtteid ning kasutada andmebaasides olemasolevaid andmeid.

Kaasaegsete tehnoloogiate ja meetoditega on linnakeskkonnas võimalik tuvastada valdava osa maa-alustest tehnovõrkudest. Tehnoloogiliste piirangute tõttu ei ole linnakeskkonnas absoluutselt kõikide tuvastamiseni võimalik jõuda. Üldjuhul on tuvastatavad ja kaardistatavad kõik peamised trassid. Paljud majasisendid võivad jääda geofüüsikalistele seadmetele nähtamatuks. Näiteks väikse läbimõõduga ja allpool maapinna külmumispiiri olevaid plastikust veetorusid on keeruline tuvastada. Samuti ei ole seadmetele nähtavad peenikesed, otse maasse (ilma kaitsetoruta) kaevatavad ja ilma tuvastustraadita fiiberoptilised kaablid.

Kolm kõige tähtsamat tehnoloogiat maa-aluste tehnovõrkude andmehõives on: georadar (GPR), elektromagnetiline lokaator (EML) ja geodeetilisteks mõõdistusteks GNSS või tahhümeeter. Uuringutes, kus on vaja saada maa-aluste tehnovõrkude kohta täpseid andmeid ja uuringutulemus salvestada, on kõigi kolme tehnoloogia kasutamine kohustuslik.

Kuna maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine käib peamiselt geofüüsikaliste seadmete abil, siis on mitmeid takistavaid tegureid ja piiranguid, millega peab uuringute läbiviimisel arvestama. Näiteks mõjutavad uuringu tulemusi pinnase tüüp, pinnase niiskus, tugevalt eristuvad kihid pinnases, otsitava objekti sügavus ja suurus, tihedalt paiknevad metallist objektid, välised elektromagnetlained, kõrge merevee tase, puudulik juurepääs maapinnale (lumi, pikk hein, vms) jne.

Üldise andmehõive protsessiga ning peamisi geofüüsikalisi tehnoloogiaid kasutades on võimalik saada usaldusväärseid uuringutulemusi üldjuhul kuni 3 meetri sügavuselt. Kuigi sobiva pinnase korral ja õigete seadmetega on võimalik tuvastada objekte ja oluliselt sügavamalt, on võimalik sügavamate ja spetsiifilisemate (tehnovõrgu seisukorra hindamine, lekke koha otsimine, jms) uuringute jaoks kasutusele võtta täiendavaid tehnoloogiaid nagu CCTV, magnetomeeter, güroskoop, metalliotsijad, akustilised seadmed jne.

#### 4.1.1 Georadar (GPR)

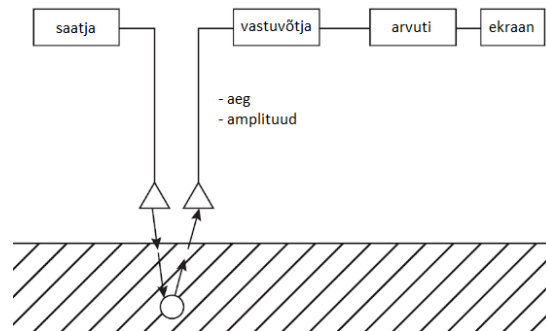
##### 4.1.1.1 Tehnoloogia

Georadar on iga maa-aluse tehnovõrkude uuringu kohustuslik tehnoloogia. Ilma georadarita ei ole paljudel juhtudel võimalik tehnovõrke tuvastada ning nende asukohta ja sügavust täpselt määrata. Georadar suudab tuvastada maa-alust tehnovõrku olenemata materjalist (metall, plastik, keraamiline, puit jms), kui selle materjal erineb teda ümbritseva pinnase koostisest.

Georadari põhikomponendid on juhtimisseade, antenn ja aku.

Juhtimisseade genereerib ja kontrollib elektromagnetiliste lainete impulsse. Juhtimisseadmes on üldjuhul ka sisseehitatud arvuti, mis võtab vastu tagasipeegeldunud impulsid, salvestab need ja teeb esmase töötluste. Enamus juhtimisseadmetel on ka ekraan, mille kaudu saab määrata georadari seadistusi ning jälgida uuringu andmeid reaalselt.

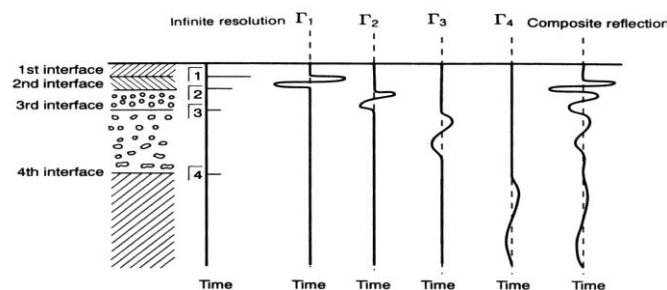
Georadari saatja antenn saadab maapinda elektromagnetilisi impulsse. See energia tungib sügavamale pinnasesse, kuid osa sellest energiast peegeldub tagasi objektidelt, mis erinevad pinnasest. Tagasipeegeldunud energia püütakse kinni vastuvõtja antenniga ning mõõdetakse selle intensiivsust ning aega, mis kulub tal pinnase läbimiseks.



Joonis 3. Georadari tööpõhimõte

Selleks, et saada infot erinevatel sügavusel olevatest objektidest, kogub georadar ühes punktis järjest mitusada näitu elektromagnetlainete tagasipeegelduste kohta. Olenevalt georadaris olevast ostsilloskoopi tehnoloogiast saadetakse iga näidu saamiseks välja uus impulss (Equivalent-Time Sampling) või kogutakse kõik näidud ühe väljasaadetud impulsi (Real-Time Sampling). Sellest tehnoloogiast sõltub georadari maksimaalne liikumise kiirus andmete kogumisel.

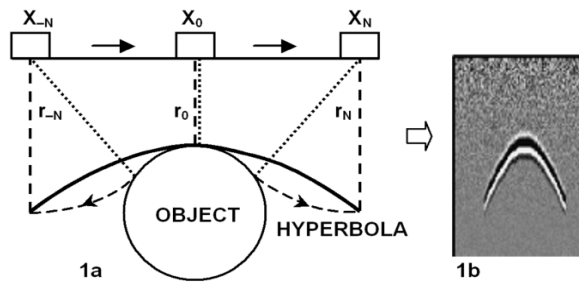
Kõikidest ühest punktist kogutud näitudest pannakse kokku skaneeringute kogum ehk A-skaneering. A-skaneeringu järgi saab määrata selles konkreetses asukohapunktis ( $x, y$ ) oleva tagasipeegeldunud laine parameetreid. Sellest saab olulist infot, kui võrrelda kõrvuti asuvate mõõtmispunktide parameetreid. Samuti on selle järgi võimalik näha kõikidel kõrgustel ( $z$ ) oleva amplituudi tugevust ja polaarsust. Sõltuvalt uuringu ülesandest, kogutakse näite ja luuakse nendest A-skaneeringuid üldjuhul iga 1–5 cm tagant. Kõikidel georadaritel on võimalus seadistada, kas impulsse saadetakse maapinda automaatselt kindla vahemaa või aja järgi või manuaalselt.



Joonis 4. A-skaneering (D. J. Daniels, 2004<sup>11</sup>)

Georadari liikumisel maapinal ja A-skaneeringuid teineteise kõrvale seades saadakse elektriväljade maatriks ehk B-skaneering. B-skaneeringu järgi saab täpselt tuvastada ja positsioneerida sihtmärke. See on peamine meetod, kui soovetakse täpselt tuvastada maa-aluste kommunikatsioonide asukohta ( $x, y, z$ ). Olenevalt lineaarse sihtmärgi (toru, kaabel vms) suunast võrreldes skaneerimisliiniga, on sihtmärk B-skaneeringul nähtav kas hüperboolina, osalise hüperboolina või eristuva joonena.

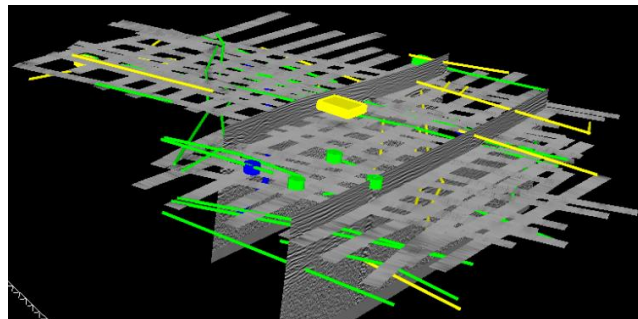
<sup>11</sup> Ground Penetrating Radar, David J. Daniels 2004



Joonis 5. B-skaneering (Ristic, 2009<sup>12</sup>)

Seades kõrvuti kõik kogutud B-skaneeringud, moodustub nendest 3D maatriks ehk C-skaneering.

C-skaneering võimaldab teha lõikeid uuringualas nii horisontaalselt (time slice) kui vertikaalselt piki- ja ristisuunas. Tänu sellele tekib terviklik pilt sihtmärgi asukohast. Sihtmärgi täpse asukoha määramiseks kasutatakse üldjuhul erinevaid lõikeid samast piirkonnast.



Joonis 6. C-skaneering 3D vaade Vesivärava tn ja Faehlmanni tn ristmik

Maa-aluste tehnovõrkude uuringute jaoks kasutatavaid on mitut liiki. Kõige laialdasemalt on kasutusel ühe kanaliga 2D georadarid, mida on lihtne transportida ja kasutada. Samas suurte maa-alade kaardistamiseks kulub sellega palju aega ning kohtades, kus on palju erisuunalisi maa-aluseid tehnovõrke, et pruugi tulemus olla kvaliteetne.

Viimasel ajal on järjest enam hakatud kasutama paljude kanalitega georadareid, kus antennid on asetatud korpusesse selliselt, et kanalite vahe on sõltuvalt seadmest 4–8 cm. Need antennimassiiviga 3D georadarid võimaldavad saada maa-alustest tehnovõrkudest kõrge resolutsiooniga 3D andmeid.



Pilt 1. Lükatav 8 kanaliga 3D GPR



Pilt 2. Ühe kanaliga 2D GPR



Pilt 3. 18 kanaliga 3D GPR

<sup>12</sup> GPR applied to the detection and localization of utilities in urban areas, Aleksandar Ristić 2009

Kuna georadar on geofüüsikaline seade, siis mõjutavad tema tööd otseselt pinnase omadused:

- magnetiline vastuvõtlikkus,
- elektrijuhtivus,
- dielektriline läbitavus.

Magnetiline vastuvõtlikkus mõjutab elektromagnetlaine võimekust levida, kuid kuna seda on meie looduslikus pinnases vähe, siis see üldiselt ei mõjuta georadari tööd.

Pinnase elektrijuhtivus mõjutab otseselt elektromagnetlaine levikut ning sellega georadari tööd, kuna see põhjustab energiakadu. Tänu pinnase elektrijuhtivusele hajub georadarist välja saadetud energia erinevatesse suundadesse ning seda ei jää piisavalt järgi, et edasi sügavamale pinnasesse tungida. Selle tulemusena „ei näe“ georadar piisavalt sügavale. Väga hea elektrijuhtivusega on näiteks soolane vesi ja sellest tulenevalt ei saa georadariga koguda andmeid kohas, kus merevesi on pinnasesse tunginud. Samuti ei suuda georadar „näha läbi“ tihedast metallvõrgust või metallplaadist.

Pinnase suhteline dielektriline läbitavus on pinnase omadus, millele georadari töö suurel määral toetub. See mõjutab pinnase sisemise takistusega ja peegeldusega kiirust, millega elektromagnetlaine pinnast läbib. Suhteline dielektriline läbitavus näitab, kui kiiresti suudab elektromagnetlaine antud pinnases liikuda. Erinevatel materjalidel on erinev dielektriline väärtus ning seega suudab elektromagnetlaine levida neis erineva kiirusega:

Materjal	dielektriline väärtus	laine kiirus max (m/ns)	laine kiirus min (m/ns)
õhk	1	0,30	0,30
magevee jää	3 kuni 4	0,15	0,17
merevee jää	4 kuni 8	0,11	0,15
lumi	8 kuni 12	0,09	0,11
kuiv liiv	3 kuni 5	0,12	0,17
märg liiv	20 kuni 30	0,05	0,09
kruus	4 kuni 7	0,15	0,11
paekivi	4 kuni 8	0,11	0,15
graniit	5 kuni 7	0,13	0,11
asfalt	4 kuni 8	0,15	0,11
saviliiv	7 kuni 10	0,11	0,09
betoon	7 kuni 10	0,11	0,09
kruusatee	8 kuni 14	0,11	0,08
möll	16 kuni 30	0,08	0,06
savi	25 kuni 40	0,06	0,05
turvas	40	0,05	0,05
vesi	80	0,03	0,03

Tabel 3. Materjalide dielektriline väärtus ja elektromagnetlaine liikumise kiirus (Davis ja Annan 1989<sup>13</sup>; Daniels 1996<sup>14</sup>; Teede Tehnokeskus 2014<sup>15</sup>)

<sup>13</sup> Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, Davis, J.L. and Annan, A.P. 1989

<sup>14</sup> Surface-Penetrating Radar, David J. Daniels 1996

<sup>15</sup> Asfaltkatteid mittepurustava vastuvõtusteemi väljatöötamine, AS Teede Tehnokeskus 2014

Georadar mõõdab, kui palju aega kulub impulsil saatja antennist jõudmiseks sihtmärgini ning sealt tagasi peegeldumiseks vastuvõtja antennini.

Teades, milline on pinnase suhteline dielektriline läbitavus ning kui palju kulus impulsil aega sihtmärgini ja tagasi jõudmiseks, saab arvutada välja sihtmärgi kauguse (sügavuse) georadarist.

Georadariga saab kaardistada maa-alust tehnovõrgu asukohta ja sügavust, aga ei saa täpselt tuvastada, millise tehnovõrguga on tegemist. Sõltuvalt georadari tüübist, tarkvarast ja interpreteerija oskusest, on küll võimalik eristada kaablid torudest ning teha vahet metallist ja mittemetallist taristu vahel, kuid ei ole võimalik öelda näiteks, kas tegemist on nõrkvoolu, madalpinge või keskpinge kaabliga. Samuti ei ole võimalik tuvastada georadariga piisavalt täpselt maa-aluse tehnovõrgu suurust ja läbimõõtu.

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamiseks vajab georadar otsest kontakti maapinnaga. Sellepärast ei saa georadarit kasutada paksu lumega või kõrge heinaga pinnasel. Georadariga saab kõige parema tulemuse kuiva ja liivase pinnasega ning see ei ole nii efektiivne märja ja savise pinnase puhul. Georadar suudab hästi „läbi näha“ ka betoonist. Sellegipoolest, kui betoonis olev metallist armatuurvõrk on tihedam kui georadari lainepikkus, siis sellest georadar „läbi ei näe“.

Georadari suutlikkus maa-aluseid tehnovõrke tuvastada sõltub kasutatavast antenni sagedusest.

Üldiselt jäävad tehnovõrkude tuvastamiseks ja kaardistamiseks kasutatavatel georadaritel lainesagedused 100 MHz ja 1000 MHz vahele.

Madalam sagedus suudab levida sügavamale. Näiteks 100 MHz sageduse antenniga georadar suudab näha 5 meetri sügavusele, samas kui 1000 MHz sagedusega vähem kui 1 meetri sügavusele.

Kuna madalamal sagedusel on lainepikkus suurem, siis on resolutsioon madalam ning võimalik tuvastada ainult suuremaid objekte. Peenikesi kaableid või väikse läbimõõduga torusid ei ole võimalik näha madala sagedusega antenniga. Kõrgemal sagedusel on lainepikkus väiksem ja parem resolutsioon, mis võimaldab tuvastada ka väiksemaid objekte, peenemaid kaableid ja torusid.

Üle kolme meetri sügavusel olevaid tavalisi tehnovõrke ei ole üldjuhul siiski võimalik georadariga tuvastada.

Lisaks sagedusele mõjutab lainepikkust ja resolutsiooni pinnase dielektriline läbitavus. Mida kõrgem on pinnase dielektriline väärtus, seda väiksem on lainepikkus ning parem on resolutsioon.

Antenni sagedus MHz	Maksimaalne sügavus meetrit		Õhk	Betoon	Kuiv pinnas	Tihendatud pinnas	Märg pinnas
		Dielektriline väärtus	1	7	9	14	25
		Laine kiirus (m/ns)	0,3	0,12	0,1	0,08	0,06
100	5	Laine pikkus/ resolutsioon (m)	3,00/0,75	1,20/0,30	1,00/0,25	0,80/0,20	0,60/0,15
200	4		1,50/0,38	0,60/0,15	0,50/0,13	0,40/0,10	0,30/0,08
400	3		0,75/0,19	0,30/0,08	0,25/0,06	0,20/0,05	0,15/0,04
1000	1		0,30/0,08	0,12/0,03	0,10/0,03	0,08/0,02	0,06/0,02
1500	0,5		0,20/0,05	0,08/0,02	0,07/0,02	0,05/0,01	0,04/0,01

Tabel 4. Lainepikkus ja resolutsioon (TSA, 2018<sup>16</sup>)

<sup>16</sup> The essential guide to utility surveys, The Survey Association UK, 2018

Georadar suudab maa-aluse tehnovõrgu asukohta määrata täpselt, kuna peegeldus saab tulla georadari vastuvõtu antennile ainult täpselt sihtmärgilt. See, millise täpsusega tehnovõrk tegelikult kaardistatakse sõltub positsioneerimisseadme täpsusest ning georadari andmete töötaja oskusest.

Maa-aluse tehnovõrgu sügavust suudab georadar määrata üldiselt  $\pm 10\%$  täpsusega, sõltuvalt sellest, kui ühtlane on pinnas uuringu piirkonnas ja kui hästi suudetakse määrata pinnase dielektrilist väärtust. Vesivärava tänava testobjektile jäi enamus testitud georadaritel sügavuse täpsus  $\pm 5\%$  sisse. Oluline on meeles pidada, et georadar mõõdab sügavust sihtmärgi peale.

#### 4.1.1.2 Andmehõive meetodid georadariga

##### 4.1.1.2.1 Kohapealne reaalarjas sihtmärgi tuvastamine koos mahamärgimisega

Seda meetodit kasutatakse siis, kui uuringu piirkonnas on vajalik reaalarjas tuvastada ja maha märkida maa-alused tehnovõrgud. Näiteks kui on vaja saada kinnitust elektromagnetilise lokaatoriga (EML-ga) tuvastatud maa-aluse tehnovõrgu asukohale, alustada kaevetöödega või kinnisel meetodil (puurimine, muttimine, kündmine) uue tehnovõrgu ehitust vms.

See meetod tugineb georadari operaatori oskustele ja kogemustele. Georadar seadistatakse ja kalibreeritakse vastavalt uuringupiirkonnale selliselt, et samaaegselt toimuks andmehõive ja signaalitöötlus. Selliselt kuvatakse georadari ekraanile reaalarjas pinnases olevad anomaaliad, mida operaator peab tuvastama, kaablite, torude ja muude objektidena.

Antud meetodit kasutades tuleb terve uuringuala süstemaatiliselt üle skaneerida vastavalt georadari tüübile ning uuringu eesmärgile. Leitud sihtmärk tuleb maha märkida piisava sagedusega, mis võimaldab tehnovõrgu asukoha täpset kaardistamist. Iga märgi juurde tuleb kindlasti märkida ka sihtmärgi sügavus. Võimalusel tuvastada lisaandmetest, välivaatlusest vms, millise tehnovõrguga on tegemist ning erinevad tehnovõrgud märkida maha erinevate värvidega.

Vajadusel on võimalik kõik leitud ja mahamärgitud tehnovõrkude asukohad ning sügavused salvestada positsioneerimisseadmega (GNSS või tahhümeeter) ning neid andmeid on võimalik edaspidi kasutada GIS/CAD tarkvarades.

Paljudel tänapäevastel georadaritel on olemas ka salvestusfunktsioon ja mõnedel ka välise positsioneerimisseadme ühendamise võimalus. Seega saab vajadusel lisaks reaalarjas tuvastamisele ja mahamärgimisele ka georadari toorandmed koos asukohaandmetega salvestada ning neid hiljem kasutada.

Kohapealsel reaalarjas sihtmärgi tuvastamisel ja mahamärgimisel on mitmeid eeliseid teiste meetodite ees. See on suhteliselt odavam, kuna seda saab teostada lihtsamate ja odavamate seadmetega ning jääb ära kulukas georadari andmete järeltöötluse protsess. Selle meetodi puhul on tehnovõrkude tuvastamisel abiks kohapealne keskkond ja kontekst. Näiteks, kui avastatud tehnovõrk väljub maapealsest elektrikilbist, siis on see suure tõenäosusega elektrikaabel. Selle meetodi puhul on georadari operaator motiveeritud pidevalt jälgima, et andmehõive oleks teostatud korralikult ja andmed oleksid kvaliteetsed.

Samas on sellel meetodil ka mitmeid puudusi. Näiteks võivad selle meetodi puhul jääda mõned tehnovõrgud tuvastamata sellistes kohtades, kus maa all on palju erinevaid taristuid. Ka ei ole võimalik tihti eristada või on võimalik segamini ajada erinevaid tehnovõrke, kus neid on palju samas kohas. Sellise meetodiga on keeruline tagada ka kvaliteedi kontrolli, kuna tulemus sõltub peaaegu täielikult ainult georadari operaatori oskustest ja kogemustest. Ning lisaks, kui selle meetodi puhul toimub ainult

tehnovõrkude tuvastamine ja mahamärkimine ilma andmete salvestamiseta, siis ei jää sellest uuringust järgi digitaalseid andmeid.

#### 4.1.1.2.2 Andmehõive koos salvestamisega ning järeltöötusega

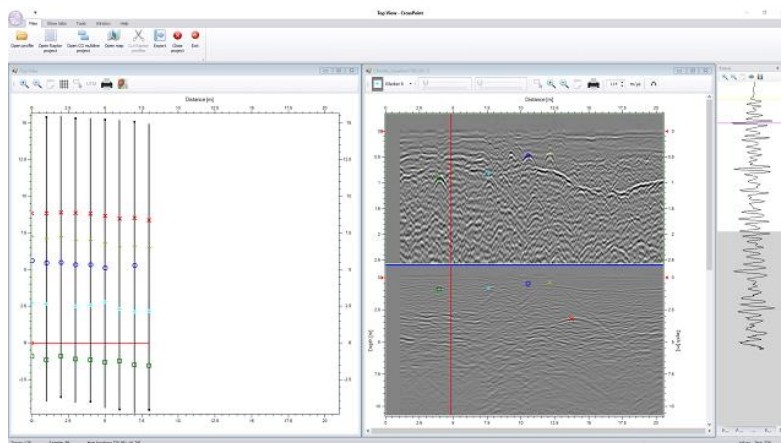
Andmehõivet koos salvestamisega ja hilisema järeltöötusega kasutatakse siis, kui on vaja saada uuringupiirkonnast andmeid, et neid kasutada näiteks planeeringute, topo-geodeetiliste alusplaanide, ehitusprojektide jms koostamiseks.

Antud meetodi puhul toimub uuringupiirkonnas georadariga ainult andmehõive. Kohapeal maa-aluseid tehnovõrke ei tuvastata ega märgita maha. Selle meetodi puhul skaneeritakse terve uuringuala süstemaatiliselt georadariga vastavalt valitud seadmele ning juhistele.

Kui kasutatakse ilma välise positsioneerimisseadmeta georadarit, siis iga profiili alguse ja lõpu koordinaadid salvestatakse eraldi kõrgema täpsusklassi positsioneerimisseadmega (GNSS, tahhümeeter), et hiljem oleks võimalik need õigele kohale asetada. Georadaritel, millega on ühendatud kõrgema täpsusklassi väline positsioneerimisseade, salvestatakse iga georadari mõõdistuspunkti juurde kohe ka koordinaatpunkt (x,y,z).

Antud meetodi puhul on väga oluline jälgida, et kogu uuringu ala saaks süstemaatiliselt skaneeritud ega jääks skaneerimata alasid. Samuti on tähtis, et georadari seadistused oleksid tehtud vastavalt uuringu eesmärgile, uuringuala tingimustele ning seadme tootja juhistele. Andmehõive käigus kogutud andmete kvaliteedist sõltub, kui hästi on võimalik andmete järeltöötusel tuvastada ja kaardistada maa-aluseid tehnovõrke.

Andmehõive käigus kogutud andmed viiakse kontorisse, kus neid töödeldakse ja analüüsitakse. See hõlmab signaalitöötlust ning andmete interpreteerimist nii 2D (vertikaalsete skaneeringute) kui ka võimalusel 3D (horisontaalsete lõigete) järgi. Andmete järeltöötuse käigus tuvastatakse kõik võimalikud lineaarsed objektid, mis võivad olla otsitavad tehnovõrgud ja ka muud maa-alused objektid. Seejärel saab saadud andmed ekspordida GIS/CAD tarkvarasse, kus hakatakse neid tuvastama konkreetseteks kaabliteks, torudeks jne, kasutades selleks muid väliseid infoallikaid.



Pilt 4. Järeltöötlus CrossPoint tarkvaraga

Andmehõive koos salvestamisega ja hilisema järeltöötusega tagab parema andmete kvaliteedi ning suurema võimaluse tuvastada ja kaardistada enamus maa-alustest tehnovõrkudest uuringupiirkonnas. Selle meetodiga tulevad välja ka muud maa-alused objektid, mis võivad olla uuringu seisukohast olulised.

Kui andmehõive on teostatud vastavalt juhistele, siis on selle meetodiga võimalik tuvastada ja eristada maa-aluseid tehnovõrke ka piirkonnas, kus neid on mitmeid samasuunalisi, ristuvaid või kattuvaid. Samuti on võimalik neid eristada omavahel konkreetseteks tehnovõrkudeks. Kuna andmete interpreteerimine toimub kontoris arvuti kaudu, siis on võimalik kasutada ka erinevaid lisaandmeid, mis hõlbustavad tehnovõrkude tuvastamist.

Linnakeskkonnas, kus on maa-aluseid tehnovõrke tihedalt, on see ainus meetod, mis annab kvaliteetse uuringutulemuse.

Lisaks saab selle meetodiga kasutada erineva tasemega tööjõudu erinevate tööülesannete juures. Näiteks andmehõivet teostav töötaja ei pea oskama signaalitöötlust ega radargramme tõlgendada ning andmete järeltöötaja ei pea omama geodeedi oskusi.

Antud meetodiga säilivad kõik uuringuandmed ning neid saab kasutada nii kontrolliks kui vajadusel ka järgmistel kordadel.

Selle meetodi puuduseks on uuringu aeg ja maksumus. Antud meetod vajab georadari andmete järeltöötlust professionaalse töötaja poolt ning järeltöötlusele kulub üldjuhul rohkem aega kui andmehõivele. Seega võib uuringu hind kujuneda mitmekordseks võrreldes kohapealse reaalsajal sihtmärgi tuvastamise ja mahamärgimisega. Selle meetodiga läbiviidav uuring kestab ajaliselt kauem, kuna lisaks andmehõivele uuringualal kulub aega ka kontoris andmete järeltöötlusele.

#### 4.1.1.2.3 Andmete kogumine ühesuunalise skaneerimisega

Kõige primitiivsem uuringu meetod georadariga maa-aluse tehnovõrgu tuvastamiseks ja kaardistamiseks on sihtmärgi arvatava asukoha ristisuunaline skaneerimine.

Seda meetodit saab kasutada, kui on teada otsitava tehnovõrgu tõenäoline asukoht ning kulgemissuund. Antud uuringu meetodiga uuringut teostades kasutatakse ühekanalilist georadarit.

Tehnovõrgu tõenäolisse asukohta määratakse ära skaneerimisala. Sellesse märgitakse iga 0,5 meetri tagant skaneerimise alguse ja lõpp-punkt. Punktid märgistatakse selliselt, et georadari skaneerimisliin oleks tehnovõrgu arvatava kulgemissuunaga risti.

Georadariga tehnovõrgust risti ülesõites saab tehnovõrku tuvastada radargrammile joonistuva hüperbooli kujutise järgi.

Kui tegemist on kohapealse reaalsajal sihtmärgi tuvastamise ja mahamärgimisega, siis märgitakse tehnovõrgu asukoht koos sügavusega maapinnale igal profiilil. Selleks sõidetakse georadariga profiilil natuke üle tehnovõrgu, et joonistuks välja terviklik hüperbool. Seejärel tõmmatakse georadarit tagasi täpselt hüperbooli keskkoha ning seal tehakse märged maapinnale.

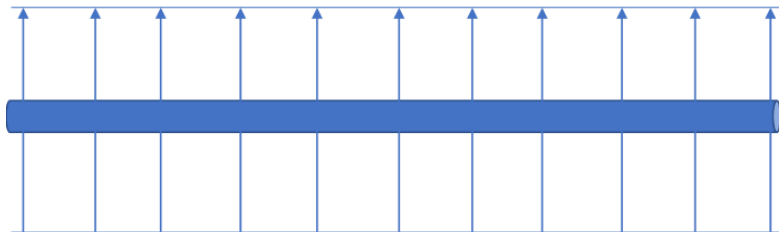
Kui teostatakse andmehõivet koos salvestamisega ning järeltöötusega, siis tuleb koos georadari andmetega saada ka sihtmärkide asukoht ja sügavuse andmed.

Kui georadariga ei saa ühendada välist positsioneerimisseadet (GNSS, tahhümeeter), siis tuleb jälgida, et skaneerimine algaks täpselt alguspunktist ja lõppeks täpselt lõpp-punktis või kasutada referentsjoont. Alguspunkti ja lõpp-punkti vahe mõõdistab georadar sisemise odomeetriga. Iga profiili alguse ja lõpp-punkti koordinaat tuleb salvestada eraldi positsioneerimisseadmega ning järeltöötuse käigus seotakse kõik profiilid täpsete koordinaatidega. Kui kasutatakse algus- ja lõpp punkti asemel referentsjoont, siis tuleb see täpselt mõõdistada.



Kui georadariga saab ühendada välist positsioneerimisseadet, siis salvestatakse kohe georadari tarkvaraga ka asukoha andmed. Osade georadaritega on ka positsioneerimisseadme z koordinaadi salvestamine võimalik absoluutkõrgusena. Sel juhul tuleb täpselt määrata georadari tarkvara seadistustes positsioneerimisseadme kõrgus maapinnast.

Andmete kogumine ühesuunalise skaneerimisega meetodit kasutades tuleb silmas pidada, et skaneerimisliiniga samas suunas kulgevad metallist tehnovõrgud võivad jääda georadarile nähtamatuks.



Pilt 5. Ühesuunaline skaneerimine

#### 4.1.1.2.4 Andmete kogumine uuringuvõrguga

Peamine uuringumeetod ühekanalilist georadarit kasutades on andmete kogumine uuringuvõrguga. Uuringuvõrguga andmete kogumine võimaldab tuvastada ja kaardistada maa-aluseid tehnovõrke olenemata nende kulgemise suunast.

Selleks märgitakse kogu uuringu alale maha uuringuvõrk kahes suunas, teineteise suhtes risti (täpselt 90°) olevad skaneerimisliinid. Skaneerimisliinid märgitakse maha iga 0,5 meetri tagant ning märgitakse ära ka täpsed skaneerimise alguse ja lõpp-punktid.

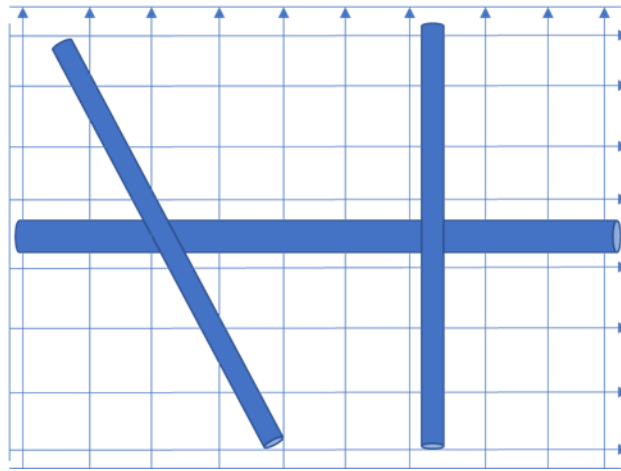
Skaneerimine georadariga teostatakse nagu andmete kogumisel ristsuunalise skaneerimisega, aga kogu maa-ala skaneeritakse vastavalt mahamärgitud uuringuvõrgule.

Kui tegemist on kohapealse reaalses sihtmärgi tuvastamise ja mahamärgimisega, siis märgitakse tehnovõrgu asukoht koos sügavusega maapinnale igal skaneerimisliinil 0,5 meetri tagant. Erisuunalised tehnovõrgud märgistatakse erinevate värvidega.

Kui teostatakse andmehõivet koos salvestamisega ning järeltöötusega ilma georadariga ühenduses oleva positsioneerimisseadmeta märgitakse samuti kõik tuvastatud sihtmärgid maapinnale.

Kõik skaneerimisliinide alguse ja lõpp-punktid salvestatakse. Kõik erisuunalised sihtmärgid salvestatakse positsioneerimisseadmesse erinevatesse failidesse.

Kasutades georadarit, millega on ühendatud väline positsioneerimisseade, skaneeritakse maa-ala täpselt vastavalt mahamärgitud uuringuvõrgule ja salvestatakse georadari tarkvaraga ka x ja y koordinaadid.



Pilt 6. Andmete kogumine uuringuvõrguga

#### 4.1.1.2.5 Andmete kogumine paanidena

Andmete kogumist paanidena kasutatakse antennimassiiviga georadarite puhul.

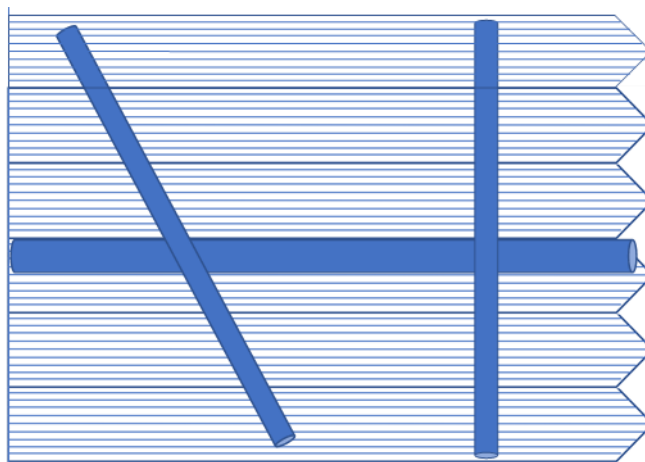
Antennimassiiviga georadaril on antennide vaheline kaugus olenevalt georadarist 5–10 cm. See tähendab, et antennimassiiviga georadar skaneerib maapinda ligi 10 korda tihedamalt kui on ette nähtud ühekanalilise georadariga.

Sellise tihedusega maapinda skaneerides ei ole vaja koguda andmeid uuringuvõrguga.

Antennimassiiviga georadar suudab tuvastada kõikides suundades kulgevad maa-alused tehnovõrgud ainult ühes suunas uuringuala skaneerides.

Kõikide antennimassiiviga georadaritega on võimalik ühendada väline positsioneerimisseade ning koordinaatide salvestamine toimub koos georadari andmete salvestamisega.

Antennimassiiviga georadar koosneb paljudest saatja ja vastuvõtja antennidest. Vastavalt antennide seadistustest, teevad antennipaardid skaneerimisel oma profiili ning kõik antennid koos moodustavad skaneerimise paani. Andmete kogumisel paanidena tuleb jälgida, et ei jääks paanide vahele alasid, mida ei skaneerita. Kuna maa-ala skaneeritakse ainult ühes suunas, siis skaneerimata alale võib jääda samas suunas kulgev tehnovõrk, mis jääb märkamatuks. Samuti tuleb vältida liiga suure ülekatttega skaneerimist, kuna see takistab pärast andmete järeltöötlust.



Pilt 7. Andmete kogumine paanidena

## 4.1.2 Elektromagnetiline kaabliotsija (EM)

### 4.1.2.1 Tehnoloogia

Kaabli- ja trassiotsija ehk elektromagnetiline lokaator (EML) on maa-aluste tehnovõrkude uuringu oluline ja kohustuslik tehnoloogia. EML on laialt levinud tehnoloogia metallist maa-aluste tehnovõrkude otsimiseks ja tuvastamiseks.

EML tehnoloogia kasutamine on palju lihtsam kui georadari kasutamine ning samuti on seadmed mitmeid kordi odavamad. Maa-aluste tehnovõrkude andmehõiveks ja kaardistamiseks kasutatakse koos EML-ga positsioneerimisseadet (GNSS, tahhümeeter).

EML tehnoloogia kasutab maa-aluse tehnovõrgu tuvastamiseks elektromagnetvälja mõõtmist. Magnetväli tekitatakse signaali generaatoriga tuvastatava maa-aluse tehnovõrgu ümber, mis juhib elektrit (juhtmed, kaablid, metallist torud). Passiivses režiimis suudab EML tuvastada ka olemasolevaid magnetvälju, mis on näiteks voolu all olevates elektrikaablites, sidekaablites ning vahest ka metallist torudes.

Kaabli- ja trassiotsija komplekt koosneb kahest osast: saatja (signaali generaator) ja vastuvõtja.



Pilt 8. Elektromagnetiline lokaator RD8100 koos generaatoriga

Saatja saadab välja elektromagnetlaineid. Need lained suunatakse konkreetsesse maa-alusesse tehnovõrku, mille asukohta soovitakse tuvastada.

Väljasaadetavad elektromagnetlained on alati kindla sagedusega ja eristatavad. Tänu sellele on võimalik väljasaadetud laineid jälitada pikki ühte konkreetset maa-alust tehnovõrku ning seda mitte segi ajada mõne teise kõrval asuva tehnovõrguga.

Seda, millise sagedusega EML välja saadab, saab enamus seadmetel reguleerida. Laine sagedusest sõltub, kui kaugemale laine levib, kui intensiivne see on, kui hästi või halvasti see kandub üle kõrvalasuvatele tehnovõrkudele, jne.

EML kasutatakse erinevaid sagedusi:

- madalat sagedust 512 Hz,
- keskmisi sagedusi 8 kHz ja 33 kHz ning
- kõrgeid sagedusi 100 kHz ja rohkem.

Madalat sagedust, 512 Hz kasutatakse tavaliselt väga pikkade vahemaade puhul, kuna sellise sagedusega laine levib kaugemale. Madala sagedusega laine ei hüppa nii kergesti kõrvalasuvatele

tehnovõrkudele. Samas ei saa seda sagedust kasutada induktsiooni (klambri) puhul ning selles sagedusalas esineb palju elektrisagedusest põhjustatud häireid, mis segavad õige signaali vastuvõtmist.

8 kHz sagedus on piisavalt kõrge, et seda saaks kasutada ka induktsiooni puhul ning selles sageduses ei ole elektrisagedusest põhjustatud häireid. Samas ei ole see veel nii kõrge, et see kanduks lihtsalt üle kõrval olevatele tehnovõrkudele. 8 kHz sagedus ei ole veel piisavalt kõrge, et seda saaks kasutada väikse diameetriga tehnovõrkude tuvastamiseks.

33 kHz sagedus on piisavalt kõrge, et olla vaba häiretest ning kasutatav ka induktsiooni jaoks. Selle sagedusega signaali saab tuvastada ka väikse diameetriga tehnovõrkudes. Samas ei levi 33 kHz sagedusega signaal nii kaugele kui madalamad sagedused ning see hüppab kergemini kõrval asuvatele metallist tehnovõrkudele.

Väga kõrgeid sagedusi 100 kHz ja rohkem kasutatakse väga harva, näiteks väga väikse diameetriga kaabli otsimiseks. Seda saab kasutada ainult kuiva pinnasega ning väga lühikesel vahemaal. Kõrge sagedusega signaal liigub väga kergelt kõrval olevatele tehnovõrkudele ning hajub kiiresti.

### **Signaali saatmine**

Sõltuvalt maa-aluse tehnovõrgu uuringu eesmärgist, uuringuala võimalustest ning EML tüübist, on mitmeid võimalusi, kuidas suunata EML saatjast elektromagnetlaineid tuvastamist vajavasse maa-alusesse tehnovõrku. Igal võimalusel on omad eelised ja puudused.

Kõige täpsema tulemuse annab otseühendus, kus saatja ühendatakse juhtmega otse maa-aluse tehnovõrgu külge (otse kaabli soonele või näiteks kraani külge metallist toru puhul).

Kui otse kaabli soone külge ei ole võimalik ühendada (näiteks töötava elektri kaabli puhul), siis saab panna ümber kaabli klambri. Saatjaga ühendatud spetsiaalne klamber indutseerib signaali kaabli soone läbi isolatsiooni.

Maa-aluste tehnovõrkude puhul, mis ei juhi elektrit, kuid mille sisse saab lükata spetsiaalse traadi või fiibri, saab kasutada tuvastustraadi või sondi meetodit. Selleks lükatakse tuvastustraati või sondi tuvastatavasse torusse ning signaal saadetakse tehnovõrku nende kaudu.

Kui maa-alusele tehnovõrgule puudub juurepääs täielikult, siis on võimalik indutseerida elektromagnetlaineid sinna ka läbi maapinna.

### **Signaali vastuvõtmine**

EML saatja tekitab vastavalt valitud ühendustüübile ümber tuvastatava maa-aluse tehnovõrgu muutuva sagedusega magnetvälja. EML vastuvõtja seadistatakse selliselt, et see suudab tuvastada sama sagedusega muutuva magnetvälja. Liikudes vastuvõtjaga pikki tehnovõrku, saab tuvastada tehnovõrgu, mõõtes magnetvälja tugevust.

Tihti ei ole tingimused ideaalsed ja signaali ei ole võimalik nii täpselt suunata, et see püsiks ainult tuvastataval tehnovõrgul. Signaal võib kanduda teistele tehnovõrkudele näiteks läbi ühiste ühenduskohtade või läbi ühiste maanduste. Samuti võib signaal kanduda üle teisele lähedal asuvale tehnovõrgule läbi maapinna.

Selleks, et signaali täpsemalt suunata, on tuleb:

- Leida sobiv koht saatja tehnovõrguga ühendamiseks;
- Leida sobiv koht maanduse jaoks;

- Seadistada nii saatjas kui ka vastuvõtjas uuringu jaoks sobiv sagedus;
- Seadistada saatjas sobiv voolugevus.

EML ainult tuvastab maa-aluse tehnovõrgu asukohta ning aktiivmeetodil ka sügavuse maapinnast. EML ei salvesta uuringu tulemusi. Maa-aluse tehnovõrgu uuringu jaoks, tuleb EML-ga tuvastatud tehnovõrk maha märkida.

Maha märgitud tehnovõrgu asukohad ja sügavused salvestatakse positsioneerimisseadmega (GNSS, tahhümeeter). Mõned EML seadmed suudavad Wi-Fi võrgu kaudu suhelda otse positsioneerimisseadmega ning seeläbi tehnovõrgu andmeid otse positsioneerimisseadmesse salvestada.

#### 4.1.2.2 Andmehõive meetodid EML-ga

##### 4.1.2.2.1 Aktiivne meetod

Aktiivsed meetodid on kõik need, kus EML-i saatjast tulev kontrollitud ja kindla sagedusega signaal suunatakse otsitavasse maa-alusesse tehnovõrku ning EML vastuvõtjaga tuvastatakse selle signaali asukoht maapinnal.

Aktiivsete meetodite puhul on võimalik kontrollida nii laine sagedust ja voolu tugevust kui ka ühenduskohta ja maanduspunkti. Tänu sellele võimaldavad aktiivsed meetodid kvaliteetseid uuringutulemusi.

#### **Otseühendus**

Otseühenduse meetodika kasutamise korral ühendatakse saatja juhtme kaudu otsitava kaabli soone või toru külge. Saatja maandatakse seejärel mõne teise metallist eseme külge, mis on osaliselt maetud pinnasesse. Selleks, et elektriring sulguks, püüab signaal liikuda mööda otsitavat tehnovõrku maandatud eseme poole. See tekitab otsitava tehnovõrgu ümber magnetvälja ning seda saab EML vastuvõtja abil maapinnal tuvastada.

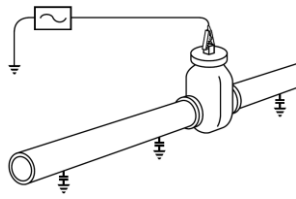
Kui otseühendus kaabli soone külge ei ole võimalik, näiteks töötava elektrikaabli puhul, siis saab kasutada spetsiaalset klambrit. Klamber asetatakse ümber jälitatava kaabli ning ühendatakse saatjaga. Klamber võimaldab saatjal signaali indutseerida kaablist läbi selle isolatsiooni.

EML vastuvõtja seadistatakse saatjaga samale sagedusele. Leides EML vastuvõtjaga otsitava maa-aluse tehnovõrgu, jälitatakse seda uuringu alal ning märgitakse tema täpne asukoht ja sügavus maapinnale. Kõik erinevad tehnovõrgud märgitakse maapinnale erineva värviga, et hiljem oleks võimalik neid eristada.

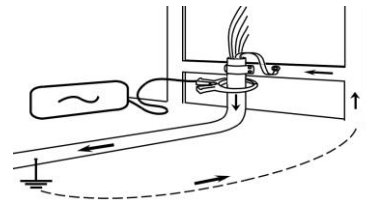
Otseühendusega on võimalik sõltuvalt sagedusest ja signaali tugevusest tuvastada sihtmärki kuni 10 meetri sügavuselt  $\pm 5\%$  täpsusega.

Otseühendusega tuvastatud maa-aluse tehnovõrgu sügavus on tema keskkoha sügavus maapinnast. Näiteks kui elektrikaabel on 100 mm kaitsetorus, siis EML ei näita kaitsetoru pealmist osa (nagu georadar) vaid täpselt kaabli soone asukohta.

Otseühenduste meetodika on esmane meetodika igas maa-aluste tehnovõrkude uuringus, kuna see võimaldab kõige tõhusamalt otsida ja eristada erinevaid tehnovõrke.



Pilt 9. Otseühendus (Radiodetection 2008<sup>17</sup>)



Pilt 10. Klamber (Radiodetection 2008)

## Tuvastustraad

Tuvastustraadi meetodikat saab kasutada torude puhul, kuhu saab tuvastustraati sisse lükata ning mis ise ei juhi elektrit. Tuvastustraadi meetodikat ei saa kasutada metallist torude puhul. Tuvastustraadi meetodikaga trassi otsimine toimub samamoodi nagu otseühenduse korral. Selle asemel, et ühendada otsitav tehnovõrk otse saatjaga, ühendatakse saatjaga tuvastustraad.

Enne tuvastustraadi saatjaga ühendamist, lükatakse see jälitatavasse torusse soovitud kaugusele. Seejärel ühendatakse tuvastustraad saatjaga ning lülitatakse saatja sisse. Selle tulemusel tekib tuvastustraadi ümber magnetväli ning jälitatav toru muutub EML vastuvõtjale nähtavaks ning toru asukohta saab määrata samuti nagu otseühenduse puhul.

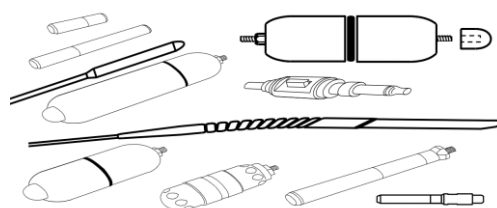
## Sond

Sarnaselt tuvastustraadiga, saab sondi meetodikat kasutada ainult selliste torude puhul, kuhu saab fiibri otsas olevat sondi sisse lükata.

Sond on miniatuurne EML saatja, mis on kinnitatud fiibri otsa külge ja seejärel lükatud otsitavasse torusse. Sondi liigutatakse torus järk-järgult edasi ning sondi asukoht ja sügavus tuvastatakse EML vastuvõtjaga ning märgitakse maapinnal.

Sondi meetodikat kasutades tuvastatakse sondi, mitte tuvastatava tehnovõrgu sügavus maapinnast. Sond võib asuda tuvastatavas maa-aluses tehnovõrgus selle põhjas, selle ülemises osas, või kusagil vahepeal vastavalt sellele, kas toru on tühi ja puhas, selles voolab vesi või on selles muid objekte. Sondi asukoha määramine tuvastatavas tehnovõrgus on oluline eriti suurte kollektortorude puhul, kus vahed võivad olla kümneid sentimeetreid.

Sonde on saadaval mitmes erinevas suuruses ja erinevatele torudele. Sonde kasutatakse peamiselt sügavamate drenaaži-jms torude otsimistel, kuna mõned sondid võivad töötada kuni 15 meetri sügavuses.



Pilt 11. Erinevad sondid (Radiodetection 2008<sup>18</sup>)

<sup>17</sup> abc&xyz of locating buried pipes and cables, Radiodetection 2008

<sup>18</sup> abc&xyz of locating buried pipes and cables, Radiodetection 2008

## Induktsioon läbi maapinna

Induktsiooni kasutatakse sellisel juhul, kui otseühendust, tuvastustraadiühendust ega sondi ei ole võimalik kasutada. Nagu selle meetodi nimigi ütleb, kasutatakse selle puhul induktsiooni.

Saatja pannakse uuringu territooriumil strateegilisse kohta maha ning saatja signaal suunatakse otse maapinda. Signaal liigub sealt edasi mööda lähimaid laineid kandvaid objekte, mis tavaliselt on kas metallist torud või kaablid. Seejärel kasutatakse vastuvõtjat, et leida signaal ning selle kaudu ka maa-aluseid tehnovõrke.

Saatja ja vastuvõtja ei tohi olla teineteisele liiga lähedal, et vältida õhu kaudu tagasisidet. Saatjat saab paigutada otse otsitava tehnovõrgu peale ning seda järk-järgult edasi tõstes saab tehnovõrgu kulgemist tuvastada ka pikkadel vahemaadel.

Induktsiooni meetodil saab tuvastada maa-aluseid tehnovõrke maksimaalselt 3 meetri sügavusel.

Induktsiooni meetodit tuleks kasutada aktiivsetest meetoditest viimasena. Siis saab juba avastatud ja märgitud tehnovõrgud otsingust välja arvata.

Võimalusel tuleks induktsiooni meetodiga leitud maa-aluse tehnovõrgu täpset asukohta ja sügavust määrata edasi mõne muu aktiivse meetodiga.



Pilt 12. Uuring induktsiooniga läbi maapinna (TSA, 2018<sup>19</sup>)

### 4.1.2.2.2 Passiivne meetod

Passiivset meetodit kasutatakse pärast aktiivset meetodit. See aitab tuvastada neid maa-aluseid tehnovõrke, mida aktiivse meetodiga leida ei õnnestunud. See on tavaliselt viimane meetod, mida kasutatakse EML-ga maa-aluseid tehnovõrke otsides.

Kui aktiivsete meetoditega on uuringu piirkonnas tehnovõrgud tuvastatud ja maha märgitud, siis saab passiivse meetodiga terve uuringuala üle käia, et uurida, kas sinna jäi selliseid metallist tehnovõrke, mida ei aktiivse meetodiga ei tuvastatud.

Passiivsel meetodil on kaks režiimi: „power“ ja „radio“.

„Power“ režiimis saab vastuvõtja tuvastada aktiivsete elektri kaablite olemasolu neid ümbritseva elektromagnetvälja tuvastamise teel. Kogu uuringu ala käiakse läbi vastavalt uuringuvõrgule ning

---

<sup>19</sup> The essential guide to utility surveys, The Survey Association UK, 2018

otsitakse märke tehnovõrkudest, mida veel ei ole tuvastatud. Leides sellise tehnovõrgu, liigutakse pikki seda tehnovõrku ning märgitakse maapinnale selle asukoht.

Kuna signaal ei püsi ainult konkreetsetel kaablil ja võib näiteks edasi kanduda ka kõrvalasuva veetoru, siis tuleb olla selle meetodiga tehnovõrke otsides tähelepanelik.

Kõige parem meetod selliste vigade vältimiseks on aktiivsete meetoditega eelnevalt tuvastada ja märkida kõik veetorud jms, et need saaks otsingust välja arvata.

Samuti tuleks arvestada sellega, et passiivne meetod näitab alati kõige suuremat elektromagnetlainete saatjat, mis ei tarvitse olla kõige suurema pingega kaabel. Näiteks hästi varjestatud kõrgepingekaabel tekitab ainult väikese elektromagnetvälja, samas kui vanemad madalpinge kaablite kimbud võivad tekitada oluliselt suurema elektromagnetvälja. Tihti ei ole ka muhvida lõpetatud elektrikaablid tuvastatavad „power“ režiimis.

„Radio“ režiim võimaldab vastuvõtjal leida väga madala sagedusega raadiosignaale, mis „peegeldavad“ tagasi maa-alustelt torudelt või kaablilt. Selle meetodi tulemuslikkus sõltub väga madala sagedusega raadiolainete (VLF) intensiivsusest atmosfääris. See võib vahelduda päevade ja ka isegi tundidega. Mida intensiivsem see on, seda tulemuslikum on „radio“ režiimi kasutamine.

„Radio“ režiimi kasutades käiakse uuringuala läbi sarnaselt „power“ režiimiga ning märgitakse maha seni avastamata maa-alused tehnovõrgud. Selleks et „radio“ režiim suudaks tehnovõrku tuvastada, peab selle pikkus olema vähemalt 10 meetrit.

Passiivsete meetoditega on võimalik tuvastada maa-aluse tehnovõrgu olemasolu maksimaalselt 3 meetri sügavuselt. Nende täpset sügavust määrata ei ole võimalik.

Passiivne meetod on väga oluline, et leida ülesse need elektrit juhtivad maa-alused tehnovõrgu, mida aktiivsete meetoditega leida ei õnnestunud. Eriti oluline on see siis, kui mingil põhjusel ei ole uuringualal võimalik georadariga tervet uuringuala skaneerida.

### 4.1.3 Positsioneerimine

#### 4.1.3.1 GNSS

Kõige mobiilsem mõõdistamise võimalus on GNSS-mõõdistus. Vajaliku täpsuse saavutamiseks tuleb kindlasti kasutada mitmesageduslikke ja võimalikult paljude satelliitidel põhinevate positsioneerimissüsteemide näiteks GPS, GLONASS, Galileo toetavaid GNSS vastuvõtjaid.

GNSS seadmetega mõõdistamisel tuleb silmas pidada, et vajaliku täpsuse saavutamiseks peab olema võimalikult avatud horisont. Kõrgemate hoonete ja kõrghaljastuse läheduses ei ole GNSS mõõdistamine usaldusväärne ega anna ka mõõdistamistulemustena soovitud täpsust. Sellistel juhtudel tuleb kasutada teisi täpse mõõdistamise tehnoloogiaid.

##### 4.1.3.1.1 Meetodid

Mõõdistamisi võib läbi viia nii püsijaamadest saadavate parandite kasutamisega kui ka enda paigaldatud referents jaama suhtes. Kasutades RTK tehnoloogiat saab mõne sentimeetri täpsused koordinaadid ja kõrgused reaajajas.

Selleks et siduda GPR ja RTK mõõtmised kasutatakse GNSS seadmest NMEA protokollis väljastatavaid mõõdistusandmeid. Mõõdistusandmed seotakse omavahel GPR seadmes.



#### 4.1.3.2 Tahhümeetria - mõõtejaam

Tahhümeetrit tuleb kasutada piirkondades, kus kõrghoonestuse või kõrghaljastuse tõttu ei ole võimalik täpseid mõõdistusi läbi viia GNSS seadmetega. Tahhümeetiline mõõdistus seab teistsugused piirangud. Mõõdistamiseks peab olema mõõdistatava GPR uuringu seadme ja tahhümeetri vaheline otsenähtavus. Selleks, et tulemus saaks täpne on vaja teostada ka mõõdistuse sidumine geodeetilise võrgu punktidega. Tahhümeetiline mõõdistus on kindlasti ajamahukam, kuid tiheasustus piirkondades kõige täpsem viis kogu uuringu geodeetiliseks sidumiseks.

##### 4.1.3.2.1 Meetodid

Tahhümeetrilisel sidumisel võib kasutada mistahes tahhümeetrit. Parim variant on siiski robottahhümeeter, mis on võimeline reaajas edastama mõõdistustulemused pseudo-NMEA protokollu kaudu otse GPR seadmesse. Selline lahendus annab andmete järeltöötlusesse parimad sisendandmed.

#### 4.1.4 Asukohaandmete ja sügavusandmete täpsused

Maa-aluste tehnovõrgu asukoha- ja sügavusandmete täpsus ei ole kunagi absoluutne ja sõltub paljudest asjaoludest. Õigeid meetodikaid ja tehnoloogiaid kasutades ning uuringut vastavalt ettenähtud protsessile läbi viies jääb uuringu tuvastatud tehnovõrgu asukoha ja sügavuse täpsus  $\pm 10$  cm sisse.

Geofüüsikaliste seadmete andmehõives tuleb arvestada nende seadmete eripäraga.

EML-ga saadakse alati sügavus maa-aluse tehnovõrgu, tuvastustraadi või sondi keskele.

Kui tehnovõrgu diameeter või tuvastustraadi ja sondi asukoht tehnovõrgus ei ole teada, siis ei ole võimalik täpselt määrata ka tehnovõrgu ülemise osa sügavust maapinnast.

Georadariga saadakse alati maa-aluse tehnovõrgu ülemise osa sügavus maapinnast.

Kui maa-alune tehnovõrk asub betoonist kaitsekünas või on tehnovõrgule laotud kaitseks telliskivid, siis näitab georadar nende kaitserajatiste ülemise osa sügavust ning tehnovõrgu enda sügavus ei ole teada. Osadel juhtudel suudab georadar siiski tuvastada tehnovõrgu ka läbi betoonist või kividest kaitsekihi.

Tuvastatud maa-aluste objektide asukoht määratakse välise positsioneerimise seadmega ning objekti asukoha tegelik täpsus sõltub nii kasutatud positsioneerimisseadme kvaliteedist, mõõdistamise meetodist kui ka mõõdistaja professionaalsusest.

Maa-aluste tehnovõrgu asukoha- ja sügavusandmete täpsust mõjutavad muuhulgas järgmised asjad:

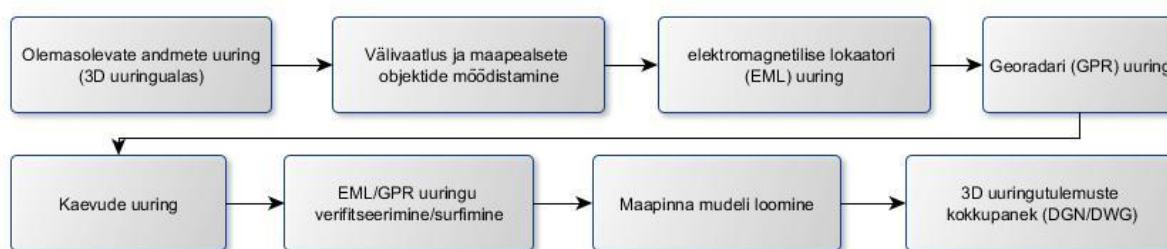
- Uuringu eesmärk ning uuringu meetodika;
- Aluskaartide täpsus;
- Positsioneerimise täpsus uuringu alas;
- Uuringuvõrgu mahamärkimise ja salvestamise täpsus;
- EML uuringu meetodika ja seadme täpsus;
- Georadari uuringu meetodika, resolutsioon, kalibreerimine ja seadme täpsus;
- Georadari andmete järeltöötamise täpsus;
- Uuringu läbiviijate professionaalsus.

#### 4.1.5 Muud maa-aluste tehnovõrkude uurimismeetodid

On mitmeid teisi tehnikaid, mida saab kasutada maa-aluste tehnovõrkude uuringutes. Nende tehnikate kasutegur on erinev ning nende kasutamine sõltub konkreetsest olukorrast. Üldjuhul kasutatakse järgmisi tehnoloogiaid tehnovõrkude uuringutes väga harva ning väga erandlikel juhtudel: güroskoop, CCTV, magnetomeeter, maapinna elektrijuhtivus, metallidetektor, infrapuna, seismiline, optiline, akustiline, lõhnaandur, jms.

#### 4.2 Andmehõive protsess

Maa-aluste tehnovõrkude andmehõive nõuab süsteemset lähenemist ja sobivate seadmete ning õigete meetodite kasutamist. Kuigi iga uuringuprojekt on erinev, tuleb täpsete ja täiuslike andmete saamiseks järgida üldist andmehõive protsessi:



Joonis 7. 3D andmehõive protsess

##### 4.2.1 Olemasolevate andmete uuring

- Maa-aluste tehnovõrkude andmete koondplaan võetakse Tallinna geomöödistuse infosüsteemist. Seda kasutatakse peamiselt skemaatilise alusmaterjalina üldpildi saamiseks uuringupiirkonnast ning väliuuringute planeerimiseks ja läbiviimiseks.
- Teostusjoonised võetakse Tallinna geomöödistuse infosüsteemist. Olemasolevatest andmetest on teostusjoonistelt saadav info kõige kõrgema täpsusklassiga ja objektide omaduste info kirjeldamise detailsus on kõige täpsem, kuna töö on teostatud vahetult peale ehitamist. Vaatamata sellele, et teostusjoonised on koostatud väga erinevas kvaliteedis ja sisaldavad vigu on selle andmestiku kasutamine 3D uuringute kokkupanemisel hädavajalik.
- Esialgse skeemi kokkupanek, millel tuvastatakse võimalikud tehnovõrgud ja nende valdajad uuringupiirkonnas.
- Tehnovõrkude andmed saadakse tehnovõrgu valdajalt. Need andmed võivad olla erinevates formaatides, täpsusklassides ja kompleksuses.
- Olemasolevatest andmetest toimub üldskeemi kokkupanek. Seda kasutatakse edasises uuringus ja see on aluseks 3D uuringutulemuste kokkupanekul.

##### 4.2.2 Välivaatlus ja maapealsete objektide määrdistamine

- Maa-aluste tehnovõrkude maapealsete osade (elektri- ja sidekapid, elektri- ja tänavavalgustuspostid, kaevuluugid, tuletõrjehüdrandid, gaasikraanid jne) tuvastamine ja pildistamine 3D uuringualal.
- Muude maa-alustele tehnovõrkudele viitavate leidude (trasside kaevejäljed, majasisendid jne) tuvastamine ja pildistamine.
- Maa-aluste tehnovõrkude maapealsete osade määrdistamine positsioneerimise seadmega.
- Uuringupiirkonna kirjelduse koostamine EML ja GPR uuringuteks.

#### 4.2.3 EML uuring

- Passiivsete meetoditega maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja asukohaandmete mahamärkimine.
- Aktiivsete meetoditega maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja asukohaandmete ning sügavuse mahamärkimine.
- Positsioneerimise seadmega maha märgitud maa-aluste tehnovõrkude asukohaandmete ja kõrguste salvestamine.

#### 4.2.4 GPR uuring

##### **Ühekanalilise georadariga**

Kohapealne reaalaajas sihtmärgi tuvastamine koos mahamärkimisega uuringu korral

- Uuringuvõrgu mahamärkimine
- Seadme seadistamine ja kalibreerimine
- Andmehõive uuringuvõrku järgides ja leidude asukoha ning sügavuse mahamärkimine
- Vajadusel maha märgitud leidude asukohaandmete ja sügavuste salvestamine positsioneerimisseadmega

Andmehõive koos salvestamisega ning järeltötlusega uuringu korral

- Uuringuvõrgu mahamärkimine
- Seadme seadistamine ja kalibreerimine
- Andmehõive uuringuvõrku järgides, võimalusel koos positsioneerimisega
- Vajadusel uuringuvõrgu algus ja lõpp-punktide asukohaandmete salvestamine positsioneerimisseadmega
- Andmete järeltöötlus

##### **Antennimassiiviga georadariga**

- Uuringuala alguspunkti mahamärkimine
- Georadari seadistamine
- Positsioneerimisseadme seadistamine
- Andmehõive paanidena koos positsioneerimisega
- Andmete järeltöötlus (visualiseerimine ja interpreteerimine)
- Tuvastatud objektide punktide, joonte ja pindade eksport

#### 4.2.5 Kaevude uuring

- Kaevu sisemõõtude mõõdistamine
- Kaevu sisenevate ja väljuvate torude ning maakaablite kirjeldamine (materjal, kogus, asetsemine jne)
- Torude sisemõõtude mõõdistamine
- Pakettide välismõõtude mõõdistamine
- Torude ja maakaablite sügavuse mõõdistamine maapinnast
- Fotod kaevu sisemusest ja selles olevas maakaablitest ja torudest
- Kaevuskeemi loomine

#### 4.2.6 EML/GPR uuringu verifitseerimine/surfimine

- Labidaga või vaakumpumbaga kaeve kuni tehnovõrguni ilma seda kahjustamata
- Tehnovõrgu identifitseerimine ja kirjeldamine
- Tehnovõrgu välismõõtude mõõdistamine
- Tehnovõrgu asukohaandmete ja sügavuse mõõdistamine ning salvestamine positsioneerimisseadmega
- Kaevukohta taastamine

#### 4.2.7 Maapinna mudeli loomine

- Geodeetiline sidumine
- Iseloomulike punktide mõõdistamine
- Murdejoonte defineerimine
- 3D mudelipindade loomine

#### 4.2.8 3D uuringu tulemuste kokkupanek

- 3D uuringutulemuste kokkupanek algab olemasolevata teostusjooniste andmete läbitöötamisega. Juhul kui teostusjoonised sisaldavad ka kõrgusinfot, tuleb luua 2D teostusjoonise objektidest 2,5D objektid lisades objektide atribuutandmed (kõrgus, diameeter, materjal jms). 2,5D objektid luuakse kasutades CAD (AutoCad või Microstation) tarkvara.
- Tehnovõrkude maapealse mõõdistamise tulemusena tekib esimene võrdlus olemasolevate teostusjoonise andmetega. Juhul kui tuvastatakse asukohaandmetes erinevused võrreldes mõõdistatud andmetega, on selge, et teostusjoonise asukohatäpsus ei vasta tegelikkusele ning tuleb mittevastavad osad asendada mõõdistatud tulemustega.
- Koostatakse 3D maapinnamudel. Maapinnamudeli abil arvutatakse EML ja GPR tehnoloogiaga määratud sügavustest tehnovõrke iseloomustavate punktide, joonte ja pindade kõrgused.
- Vastavalt EML ja GPR uuringutest ning mõnel juhul surfist saadud andmetele muudetakse vajadusel objektide plaanlist asukohta ning määratakse puuduvad või täpsustatud kõrgusandmed.
- Pisteliselt kontrollitakse objektide tehniliste atribuutandmete (diameeter, materjal jms) vastavust objektidel, mille puhul see on võimalik. Atribuutandmete vastavust on võimalik kontrollida ainult osaliselt. Seda saab teha nendes kohtades, kus on võimalik teostada visuaalne kontroll. Sellised kohad on kaevud,apid. Juhul kui pistelise kontrolli tulemusel tuvastatakse tehniliste andmete mittevastavus, tuleb kõik visuaalselt kontrollitavad objektid uuesti uurida. Juhul kui pistelise kontrolli tulemused on positiivsed, ei ole vaja objekte uuesti uurida. Objekte uuesti uurides on vaja siiski teatud osades usaldada teostusjoonise andmeid. Näiteks kui ei ole võimalik tuvastada torude materjali, siis kantakse see üle kõige täpsemast olemasolevast tööst (TJ).

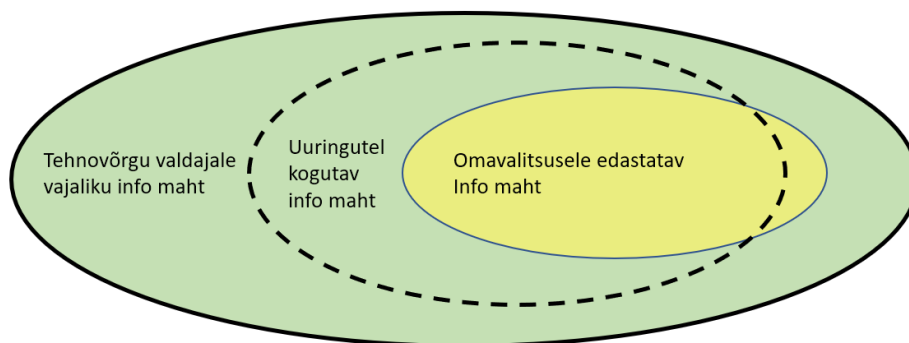
Objektid, mille kohta puudub varasem informatsioon ning mida ei ole võimalik identifitseerida, kantakse 3D uuringutulemuste faili tuvastatud tundmatute objektidena (TTO).

### 4.3 Andmehalduse tehnoloogiad ja meetodid

Kogutavate atribuutandmete detailsus sõltub uuringu tellija poolt antud lähteülesandest. Kõiki andmeid, mida vajab tellija, ei ole otstarbekas koguda ja hallata loodavas Tallinna linna 3D tehnovõrkude andmebaasis.

Atribuutandmete haldamise puhul on keskseks küsimuseks, milliste ülesannete lahendamiseks neid kogutakse. See määrab ühtlasi kogutavate andmete mahu. Oluline on arvestada ka sellega, millised on võimalused andmete kogumiseks ja edastamiseks. Kindlasti tuleb lähtuda sellest, et andmete kogumine ja haldamine minimeeriks edaspidi topelt tööde tegemise vajaduse.

Andmed tuleb esitada üheselt mõistetavalt ja masinloetaval kujul.



Joonis 8. Erinevad info vajadused.

Uuringu tulemuste vormistamiseks kasutatakse peamiselt kahte Eestis enamlevinud CAD platvormi, milleks on AutoCAD ja MicroStation. Täna kasutatakse eelpool nimetatud platvorme tööde vormistamiseks järgides MKM nõudeid. Nõuete täitmine võimaldab joonistes vormistatud elementide kohta automaatselt välja lugeda võrgu ja tüübi informatsiooni. Muude atribuutandmete lisamine joonise elementidele ei ole levinud ning enamasti edastatakse need eraldi tabelite või failidena, mitte masinloetaval kujul. Eestis on ka mitmeid tellija kes nõuavad atribuutandmetega CAD jooniseid andmete automaatseks andmebaasidesse viimiseks.

#### 4.3.1 Atribuutandmete haldamise võimalused CAD failides

Atribuutandmed kogutakse uuringute ja teostusmõõdistuste käigus. Seega peab olema kasutatavates mõõdistus- ja uuringufailide loomise tarkvarades võimalus olemasoleva või loodava kasutajaliidese abil objektidele atribuutandmeid lisada, neid muuta ja kustutada. Kui need võimalused kasutajaliidises algselt puuduvad, peab olema olemas võimalus vastav kasutajaliides luua. Samuti peavad kasutatavad andmed olema joonisfailidest väljaloetavad andmebaasi viimiseks ja vastavaid struktuure peab saama luua andmete eksportimisel andmebaasist vastavasse formaati.

##### 4.3.1.1 MicroStation DGN

MicroStation DGN V8 formaat võimaldab lisada mittegraafilisi andmeid erinevatel viisidel. Osa neist on alles varasemate versioonide toetamiseks, teised on loodud seoses uuemate versioonide kasutusele võtmisega ja pakuvad paindlikku viisi andmete lisamiseks ja salvestamiseks.

Mittegraafilised andmeid saab siduda graafilise elemendiga.

Nimetus	Asukoht
EC Schema Data	Xattribute-ide rakendus, millel on ametlik XML Schema definitsioon
Item Types	Kasutajasõbralik EC Schema rakendus MicroStation CONNECT-s
Application Element	DGN faili mittegraafiline <i>DgnStore</i>
UserData	<i>user data linkage</i> element
XData	<i>user data linkage</i> element

Nimetus	Asukoht
XML_Fragments	Mittegraafiline <i>DgnStore</i>
XAttributes	Seotud elemendiga, salvestatud eraldi DGN mudelis
Tag elemendid	Sõltumatu või graafilise elemendiga seotud element DGN mudelis

Tabel 5. DGN faili mittegraafilised andmed (<http://www.la-solutions.co.uk/content/Databases/Databases.htm>)

Erinevalt teistest mittegraafiliste andmete tüüpidest on MicroStationi V8i kasutajaliideses olemas vahendid tagide loomiseks, muutmiseks, kustutamiseks ning Tag-e suudab lugeda ja kirjutada ka FME. Alates MicroStation Connect versioonist soovitatakse Tag-ide asemel kasutada ItemTypes elemente. Paraku ei toeta FME ItemTypes tüüpi elementide lugemist ja kirjutamist.

### Mittegraafiliste andmete võrdlus

Erinevate mittegraafiliste andmete kasutamise võrdlustabelis on toodud ära kasutajaliidese olemasolu põhiraakenduses ja erinevate arendusvahendite kasutamise võimalused nende puhul.

	Kasutajaliides	VBA	.NET	MDL (C)	MS API (C++)
EC Schema Data	+	+	+	-	+
Item Types	+(Connect)				
Application Element	-	+	+	+	-
UserData	-	+	-	+	+
XData	-	+	+	+	-
XML_Fragments	-	-	-	+	-
XAttributes	-	-	-	-	+
Tag elemendid	+	+	+	+	+

Tabel 6. Mittegraafiliste andmete võrdlus

#### 4.3.1.2 AutoCAD DWG

AutoCAD DWG formaat võimaldab lisada ja hallata atribuutandmeid:

#### Autocad Map Object Data (OD)

Object data abil on võimalik defineerida ja siduda tabeleid elementidega. Puuduseks on see, et selle andmetüübi funktsionaalsuse kasutamiseks tuleb kasutada oluliselt kallimat AutoCad Map toodet, mis ei ole Eestis laialdaselt kasutusel.

## Extended Entity Data (EED)

Iga element AutoCadi failis võib olla seostatud atribuutidega, kasutades Extended Entity Data (EED) andmetüübi võimalusi. Seda võimalust kasutavad reeglina AutoCadi lisarakendused atribuutinfo salvestamiseks. Lisatud andmemaht on AutoCadi piiratud 16 K baiti elemendi kohta. FME-s on AutoCadi kirjutamise funktsionaalsus piiratud 8K baiti elemendi kohta. Antud maht on piisav projekti skoobis vajalike andmete kirjeldamiseks. Eestis on olemas kogemus ja oskus AutoCadi lisarakenduste arendamiseks.

## XRecord Data

AutoCadi failis võivad igal elemendil olla täiendavad kirjed (XRecords). Neid kirjeid kasutatakse tavaliselt atribuutinfo salvestamiseks ja nad sarnanevad Extended Entity Data tüüpi andmetega. FME võimaldab XRecords andmete lugemist ja kirjutamist. (XRecords) kirjete kasutamist tuleb kaaluda, kui Extended Entity Data piirangud saavad takistuseks info vahetusel.

### 4.3.2 Atribuutandmete kasutamine

Mõningate tellijate nõudmisel kasutatakse andmete lisamiseks Tag elemente ja on olemas kogemus vastavate kasutajaliideste loomiseks MicroStation V8i tarkvarale. Puuduseks on suhteliselt lihtne Tag-ide juhusliku kustutamise võimalus. Tag-ide haldamiseks on võimalik luua lisavahendid nii mdl kui ka VisualBasic-u programmeerimiskeeles. Sellised lisavahendid võimaldavad sisestusi hallata ja vigu vältida. Tulevikus võib tekkida vajadus kasutada Tag-ide asemel *ItemTypes* tüüpi elemente. *ItemTypesi* kasutusele võttu piirab kolmanda osapoolte tarkvara (FME) puudulik tugi. AutoCadi platvormile on loodud atribuutandmete lisamiseks kasutajaliideseid, mis põhinevad *Extended Entity Data* andmestruktuuride kasutamisel. *Extended Entity Data* andmestruktuurid on FME poolt loetavad ja kirjutatavad.

### 4.3.3 Atribuutandmete haldamise lisavahendid

Kuna nii Microstationis ja AutoCadi puuduvad kasutaja jaoks mugavad vahendid tööks atribuutandmetega siis on otstarbekas luua vajalikud lisavahendid atribuutandmete haldamiseks.

#### Lisavahendid peavad võimaldama:

- Atribuutandmete lisamist, muutmist ja kustutamist
- Lisatud andmete eelkontrolli
  - Kohustuslike andmete olemasolu
  - Andmete loogilisus
- Kasutada ühtseid klassifikaatoreid

**Microstationi** tarbeks loodavad vahendid peavad kasutama atribuutandmete kirjeldamiseks Tag elemente.

**AutoCadi** tarbeks loodavad vahendid peavad kasutama atribuutandmete kirjeldamiseks Extended Entity Data andmestruktuure.

Loodavad andmehalduse CAD vahendid peavad olema kättesaadavad kõikidele osapooltele ning kasutatavad nii uuringute teostamisel kui ka hilisema haldamise käigus. Lisavahendid peavad olema keskselt hallatavad.

#### 4.3.4 Atribuutandmetena lisatav andmestik

##### 4.3.4.1 Objektide andmestik

Objektide kohta kogutakse üldiseid andmeid, mis võimaldavad tagada olemasolevate trasside terviklikkuse säilimise ehitus- ja kaevetöödel ning on usaldusväärseks alusmaterjaliks planeerimis- ja projekteerimistöde jaoks.

3D objekti iseloomustavad andmed peavad võimaldama eelkõige elementide ruumilise ulatuse määramist. Oluline on koguda objektidele info andmete kogumise meetodite kohta, mida saab hiljem kasutada usaldusväärse hindamiseks. Need andmed väljastatakse edaspidi alusandmetena 2,5D/3D uuringute tegemiseks, planeerimiseks ja projekteerimiseks. Objekti iseloomustavate andmete koosseis sõltub objekti liigist.

Uuringut iseloomustavate andmete koosseis on kõikidel objektidel ühesugune. 2,5D/3D uuringute või teostumöödistamise tulemusena saadud objektid salvestatakse andmebaasi. Iga objekt on seotud tööga, mille tulemusena ta tekkis või muutus. On olemas andmed, mis on ühesugused kõikide antud töö objektide jaoks.

##### 4.3.4.1.1 Kaev-tüüpi objektid

Kaev-tüüpi objektid on esitatavad keskpunkti ja objekti mõõtmete abil.

- Ümarkaev, tõusutoru – ristlõige on ring, mõõtmed antud diameetri ja sügavuse kaudu, visualiseeritakse silindrina.
- Kaev-tüüpi objektid võivad olla seotud rajatis-tüüpi mõõtkavalise pindobjektiga.

Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Tähis	K-3		x	
Kaane kõrgus	44,25	x	x	Meetrites
Põhja kõrgus	42,85	x	x	Meetrites
Diameeter	400	x	x	Sisediameeter (mm)
Seina paksus	30		x	Millimeetrites
Kaevu materjal	PL	x	x	Klassifikaator
Kaane materjal	MALM	x	x	Klassifikaator

Tabel 7. Kaev-tüüpi objekti andmed

##### 4.3.4.1.2 Iseloomulike punktide andmed

Iseloomulikeks punktideks on koordinaatpunktiga kirjeldatud objekt või selle osa. Trasside puhul määrab koordinaatpunkt trassi kõrguse käänupunktis. Trassi algus- ja lõppkõrgus kirjeldatakse atribuutidena. Iseloomulik punkt võib olla ka torustiku või kaabli ühenduspunkt.

Kõikide mõõdistatud trasside käänupunktides peab olema koordinaatpunkt. Koordinaatpunktid ei tohi üksteisega kattuda. Kõik koordinaatpunktid tuleb nummerdada. Kui sõlmel on olemas varem määratud tähis, siis kasutatakse seda.



Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Tähis/nr	11		x	
Liik	KP	x	x	Koordinaatpunkt (KP), muhv, hargmik, läbimõõdu üleminek, jne
Kõrgus	30,55		x	Meetrites
Kõrguse liik			x	peale/telg/voolupõhi
Diameeter 1	110			Suurima toru läbimõõt millimeetrites
Diameeter 2				Läbimõõt millimeetrites
Diameetri tüüp	välis			Sise/välis

Tabel 8. Iseloomulike punktide andmed

Ruumilise ulatuse määramisel on olulised atribuudid kõrgus ja diameeter(id).

#### 4.3.4.1.3 Postide andmed

Postide puhul on tegemist elemendiga, mis osaliselt paikneb maa all ja osaliselt maa peal. Antud ülesande raames on oluline määrata maa aluse osa mõõtmed ja paiknemine.

Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Võrgu liik	TV	x	x	Tänavavalgustus, side, elekter
Tähis	P1			
Posti kõrgus	8		x	Meetrites
Vundamendi tüüp*	RBJ-4B		x	Klassifikaator
Kõrgus vund. peale*	22,20	x	x	Meetrites
Vundamendi vert. mõõde**	1,6		x	Meetrites
Posti diameeter	100	x	x	Millimeetrites
Posti materjal	MET	x	x	Klassifikaator

Tabel 9. Postide andmed

\* - Vundamendi olemasolu korral on kohustuslik.

\*\* - Vundamendi vertikaalmõõde või posti maa-aluse osa pikkus.

Posti ruumilist ulatust esitab silinder, mis on määratud posti kõrguse maa-aluse osa kõrguse ja diameetriga tema asukohas. Juhul kui posti vundamendi ristlõige ei ole ring tuleb vundamendi osa kujutada rajatistüüpi elemendina. Tugipost tuleb kujutada toru-tüüpi objektina, mõõtes tugiposti mõlema otsa kõrgus.

#### 4.3.4.1.4 Toru-tüüpi objektid

Kõik toru-tüüpi objektid on esitatavad oma telje kaudu, mis määrab nende kulgemise ruumis. Toru-tüüpi objektide ristlõige on ring. Selliste elementide hulka kuuluvad kõik ümmargused üksiktorud, üksikkaablid või tugipostid.

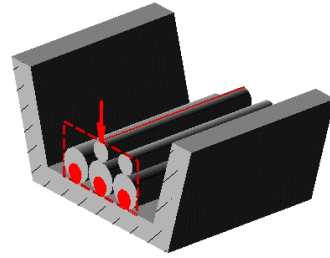
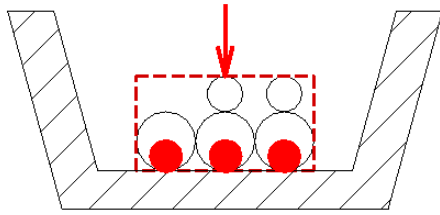
Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Tahis				
Sisediameeter	160	x*	x	Millimeetrites
Välisdiameeter	200		x	Millimeetrites
Isolatsiooni diameeter	240		x	Millimeetrites
Kõrguse liik	peale	x	x	Voolu põhi/peale
Algussõlm	K-1		x	
Kõrgus algussõlmes	30,45		x	Meetrites
Lõppsõlm	K-2		x	
Kõrgus lõppsõlmes	30,40		x	Meetrites
Materjal	PE		x	Klassifikaator
Mark	GNHLDV 24 G652.D		x	Täidetakse kaablite puhul

Tabel 10. Toru-tüüpi objektide andmed

\* - sisediameeter on kohustuslik isevoolsetel torustikel. Toruelement (sh kaabel) võib olla seotud pakettelemendiga.

#### 4.3.4.1.5 Pakett-tüüpi objektid

Pakett-tüüpi objektid erinevad torutüüpi objektidest oma ristlõike poolest. Pakett-tüüpi objektide ristlõige on ristkülik. Selliste elementide hulka kuuluvad kaablite paketid, künad, kaitserajatised jne. Kaablikaeviku korral on tegemist virtuaalse paketiga. Sõltuvalt detailsuse astmest võib lisaks pakatile kujutada ka selles asuvad üksiktorusid või kaableid. Paketina saab kujutada ka kaevikut, milles võivad paikneda kaablid või torud. Kui piisab objekti kujutamisest paketina, ei ole vaja lisada üksikkaableid või torusid.



Joonis 9. Paketi kirjeldus (2x3) koos torude ja täituvusega

Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Tähis				
Laius	500	x	x	Millimeetrites
Kõrgus	300	x	x	Millimeetrites
Kõrguse liik	peale	x	x	Voolu põhi/peale
Seina paksus				Millimeetrites
Materjal				Klassifikaator
Paketi tüüp	2x3			3 toru 2 kihis
Paketi täituvus	x00,111			0 tühi toru 1 täis toru x toru puudub
Paketi kirjeldus	x;100;100, 160;160;160			torude diameetrid paketi (mm)
Algussõlm	K-1	x	x	
Kõrgus algussõlmes	30,45	x	x	Meetrites
Lõppsõlm	K-2	x	x	
Kõrgus lõppsõlmes	30,40	x	x	Meetrites

Tabel 11. Pakett-tüüpi objektide andmed

Ruumilise ulatuse määramisel on olulised atribuudid joonelemendi ristlõike mõõdud (laius ja kõrgus) ja objekti telg.

#### 4.3.4.1.6 Rajatis-tüüpi objektid

Rajatis-tüüpi objektideks on kambrid, erikujulised kaevud, vundamendid, kaitserajatised. Rajatiste ristlõige on riskülik või erikujuline ühes tasapinnas asuv pindgeomeetria. Rajatis joonestatakse mõõtkavaliselt. Rajatis võib mitte ulatuda maapinnani. Rajatise puhul võib lisanduda ümardaevude kasutamine tõusutorudena, mis kirjeldatakse kaev-tüüpi objektidena.

Omadus	Näide	Kohustuslik uuring	Kohustuslik teostus	Märkused
Tahis	K-1			
Mõõdu liik	Välis	x	x	Sise/välis
Lae kõrgus	4,22	x	x	Meetrites
Põhja kõrgus	3,12		x	Meetrites
Seina paksus	100		x	Millimeetrites
Materjal	BET		x	Klassifikaator

Tabel 12. Rajatis-tüüpi objektide andmed

Põhja kõrgus ja seinapaksus ei pruugi uuringute käigus kõikide objektide puhul olla tuvastatavad.

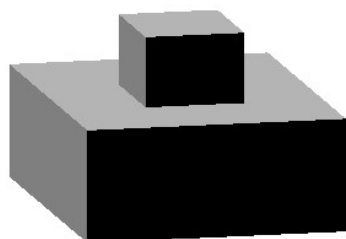
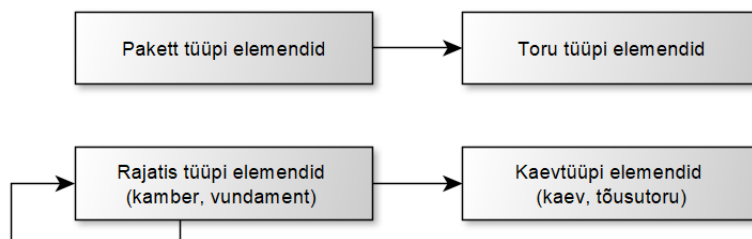
#### 4.3.4.1.7 Tuvastatud tundmatud objektide andmed

Objektid mille asukoht on tuvastatud 3D uuringute käigus, kuid mille kohta puudub informatsioon, kantakse uuringutulemuste faili tuvastatud tundmatute objektidena (TTO). Tuvastatud tundmatute objektide geomeetria võib olla pind või joon. Nendeks objektideks võivad olla näiteks betoonplaadid, maa-alused mahajäetud rajatised, torud, kaablid vms. Osadel rajatistel on võimalik tuvastada ka objekti vertikaalsed mõõtmised, osadel mitte. Otstarbekas on uuringufailides TTO objektide jaoks võtta kasutusele uus kiht „ERINOUE\_TTO“. Tuvastatud tundmatutele objektidele lisatakse objektide üldised andmed (Tabel 13. Objektide üldised andmed).

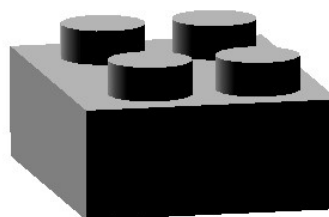
#### 4.3.4.1.8 Objektide vahelised seosed

Erinevate objektide paremaks mahuliseks kujutamiseks on otstarbekas nende alamobjektid kirjeldada erinevate objektidena, kusjuures võivad esineda järgnevad seosed:

1. Kaabel on seotud paketiga, milles ta paikneb;
2. Toru on seotud künaga, milles ta asub;
3. Tõusutorud on seotud oma erikujulise kaevu või kambriga(rajatis);
4. Kambri erikujuline väljaviik on seotud kambriga.



Joonis 10. Kahest rajatisest koosnev objekt



Joonis 11. Rajatis koos tõusutorudega

Seosed luuakse vajadusel tehnovõrkude 3D andmebaasis.

#### 4.3.4.1.9 Objektide üldised andmed

Üldised andmed salvestatakse kõikide objektidele sõltumata nende tüübist.

Andmed	Andme tüüp	Kohustuslik lisatav	Märkused
ID	integer		Elemendi andmebaasi identifikaator. Puudub esmakordselt sisestatud elemendil või katkestamise tõttu tekkinud elemendil
TÖÖ ID	integer		Seob objekti tööga (Uuring või teostusjoonis)
Olek	string	x	Kasutusel, Kasutusest kõrvaldatud, Likvideeritud (Valikväärtus)
Omanik	string		Tehnovõrgu omanik
Märkused	string		
MKM sümbol	string	x	Tuleb joonisest elemendiga, kasutatakse andmete väljastamisel DWG/DGN formaadis. Kirjeldab võrguobjekti

Andmed	Andme tüüp	Kohustuslik lisatav	Märkused
MKM kiht	string	x	Tuleb joonisest elemendiga, kasutatakse andmete väljastamisel DWG/DGN formaadis. Kirjeldab võrguobjekti
Kontroll_kp	string		Kontrollimise kuupäev
Kvaliteediklass	string	x	A,B1,B2,C,D
Uuringu tüüp	string	x	Tüüp 1, Tüüp 2, Tüüp 3, Tüüp 4

Tabel 13. Objektide üldised andmed

#### 4.3.4.2 Uurimistöoga seotud andmestik

Uurimistöoga seotud andmestik sisestatakse töö registreerimisel ning täiendatakse töö üleandmisel Geoveebis. Töö sisestamisel määratakse uuringu tüüp, kas 2,5D teostusmöödistus või 2,5D uuring.

Andmed	Kirjeldus
Staatuse	Registreeritud
Hanke nr	
Tellijaja	Trassiehituse AS
Tellijaja kontaktandmed	
Tellijaja roll	Ehitaja/Projekteerija/Haldaja
Uuringu teostaja	
Uuringu firma	Geodeesia OÜ
Uuringu nimetus	Asula tn vee- ja kanalisatsiooni trasside teostusjoonis
Uuringu töö number	G34-16055
Uuringu tüüp	2,5D teostusmöödistus/ 2,5D uuring
Uuringu standard	MKM-2,5D/EH2000
Uuringuala geomeetria	2D geomeetria

Andmed	Kirjeldus
Uuringuala sügavus meetrites	3,0
Töö algus	02.01.2019
Töö lõpp	27.02.2019
3D andmebaasi kandmise aeg	10.03.2019

Tabel 14. Uuringu või teostusmöödistamisega seotud tööandmed

#### 4.3.5 Andmesiire

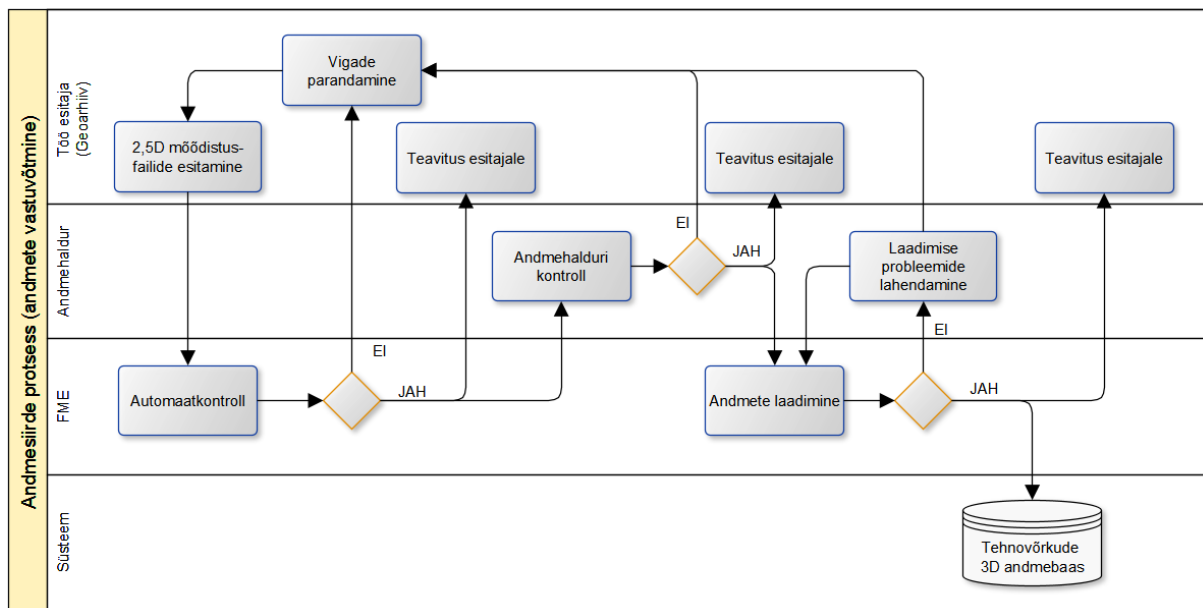
Andmesiirde käigus salvestatakse andmehõivel kogutud andmed andmebaasi. Andmebaasis salvestatud andmeid on võimalik erinevatel eesmärkidel kasutada ja vajadusel sealt eksportida. Kuna otstarbekas on andmete importimiseks ja eksportimiseks kasutada samale tarkvarale üles ehitatud rakendusi, siis käsitletakse neid siin koos.

Andmesiirde platvormiks on valitud litsentseeritud ja tasuline andmete integreerimise tarkvara FME, mis töötab Windows, Linux ja macOS operatsioonisüsteemidel. Tarkvara on välja töötatud Kanadas ja kuulub ettevõttele Safe Software Inc. Tarkvara on aktiivses arenduses ja sobib ideaalselt eriformaadiliste ruumiandmete kontrollimiseks, töötlemiseks, andmehaldusega seotud ülesannete lahendamiseks ja protsesside automatiseerimiseks. FME toetab üle 400 erineva formaadi<sup>20</sup>, võimaldab luua erinevaid andmesiirde teenuseid. Lisaks CAD ja GIS formaatidele toetab FME ka BIM formaate, erinevaid andmebaase ning veebiteenuste standardeid. CAD formaatide puhul on FME-l Tag-ide ja Extended Entity Data lugemise ja kirjutamise võimekus. Väga oluline on olemasolevate formaatide versiooniuuenduste ja uute failiformaatide tugi.

##### 4.3.5.1 Andmete import

DGN või DWG formaadis vormistatud 2,5D uuringutulemused edastatakse Geoarhiivi tööna. Tööga seotud andmed salvestatakse Geoarhiivis. Edastatavad failid peavad vastama kehtestatavatele 2,5D nõuetele.

<sup>20</sup> FME poolt toetatud formaadid <https://www.safe.com/integrate/>



Joonis 12. Andmete vastuvõtmise protsess

Automaatkontroll – kontrolli käigus kontrollitakse esitatud faili vastavust nõuetele:

- Uuringuala piiri olemasolu kontroll
- Geomeetria kontroll
- Kihtide kontroll
- Sümbolite kontroll
- Kohustuslike atribuutide kontroll
- Atribuutide loogilisuse kontroll
- Kõrguste loogilisuse kontroll
- Klassifikaatorite kontroll

Automaatkontrolli tulemused edastatakse töö esitajale. Vigade esinemise korral tuleb vead parandada ja töö uuesti esitada. Kui vigu ei esine, järgneb andmehalduri poolne kontroll.

Andmehalduri kontrolli käigus tehakse:

- Loogilisuse kontroll
- Lisandunud klassifikaatorite kontroll ja haldamine

Vigade tuvastamise korral edastatakse vigade raport uuringu teostajale. Positiivsete kontrollitulemuste korral algatab andmehaldur andmete andmebaasi laadimise. Laadimisel tekkinud vigade korral lahendab andmehaldur laadimisega seotud probleemid ja vajadusel tagastab faili uuringu teostajale. Andmehalduri ülesanne on jälgida kas tehnovõrguobjekt on samaaegselt välja antud mitmele erinevale töö teostajale ja vajadusel lahendada erinevate versioonide vahel tekkinud vastuolud. Võimalikeks lahendamist vajavateks ülesanneteks ja vastuoludeks saavad olla vahepealsete laadimiste tõttu tekkinud:

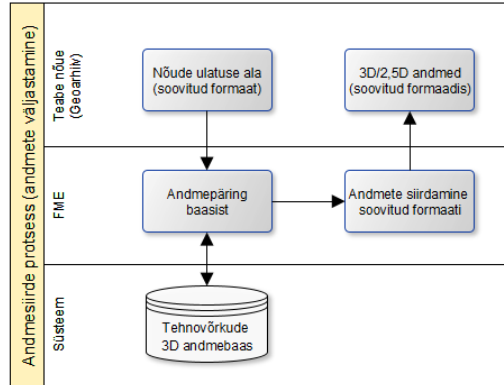
- Uued objektid
- Atribuutandmete muudatused
- Geomeetria muudatused

Loodav süsteem peab võimaldama tekkinud vastuolusid lahendada.



#### 4.3.5.2 Andmete eksport

Andmeid väljastatakse 2,5D/3D uuringu teostajatele, planeerijatele, projekteerijatele ja teistele seotud osapooltele. Andmeid on võimalik väljastada erinevates formaatides. Peamised formaadid on DWG ja DGN. Vajadusel peab olema võimalik süsteemi lisada andmete väljastamine ka teistes formaatides.



Joonis 13. Andmete väljastamise protsess

Andmete väljastamise päringu sisendiks saab olla 2,5D/3D uuringu tööpiir või vajadusel ka vabalt määratud ala. Lisaks tuleb valida soovitud failiformaat. Seejärel edastatakse sisendid andmesiirde ekspordi teenusesse. Ala alusel päritakse andmebaasist 3D objektid koos vajalike atribuutandmetega vastavalt valitud formaadi võimalustele. CAD formaatide puhul kirjutatakse objektid atribuutide MKM KIHT ja MKM SÜMBOL alusel joonise elementideks. Võimalike GIS väljundformaatide puhul antakse MKM KIHT ja MKM SÜMBOL kaasa atribuutidena. Väljaantavate 2,5D/3D objektide valikul sügavuse piiri ei rakendata. Jooksva töö raames peab olema võimalik pärida muudatusi tööpiiri alas alates viimasest väljavõtte tegemisest. Seda võimalust on vaja pikemaajaliste tööde jaoks, kus andmebaasi seis võib väljavõtte tegemise ja tagasilaadimise vahelise aja jooksul muutuda.

#### 4.3.6 Tehnovõrkude 3D andmebaas

Andmebaasi valikul tuleb arvestada erinevate 3D andmete käsitlemiseks vajalike valmis funktsionaalsuste olemasoluga. Oluline on arvestada ka andmebaaside hankimise, haldamise ja administreerimisega kaasnevate kuludega.

Siin on võrreldud põhilisi omadusi, mis on vajalikud 3D andmete hoidmiseks, töötlemiseks ja haldamiseks. Võrreldud on kolme enamlevinud ruumiandmete toega andmebaasi.

Funktsionaalsus	PostgreSQL-PostGis	ORACLE Spatial	ESRI GDB
3D geomeetriate tugi	✓	✓	✓
3D funktsioonide olemasolu	✓	✓	✓
Andmesiirde (FME) tugi	✓	✓	✓
GIS platvormide tugi	QGIS, ESRI	QGIS, ESRI	ESRI
Versioonide haldamise võimalused	Vajab lisaarendust	✓	✓
Tasuta (vabavara)	✓	Tasuline	Tasuline

Litsentseeritavatest andmebaasiplatvormidest on valida Oracle või ESRI andmebaaside vahel.

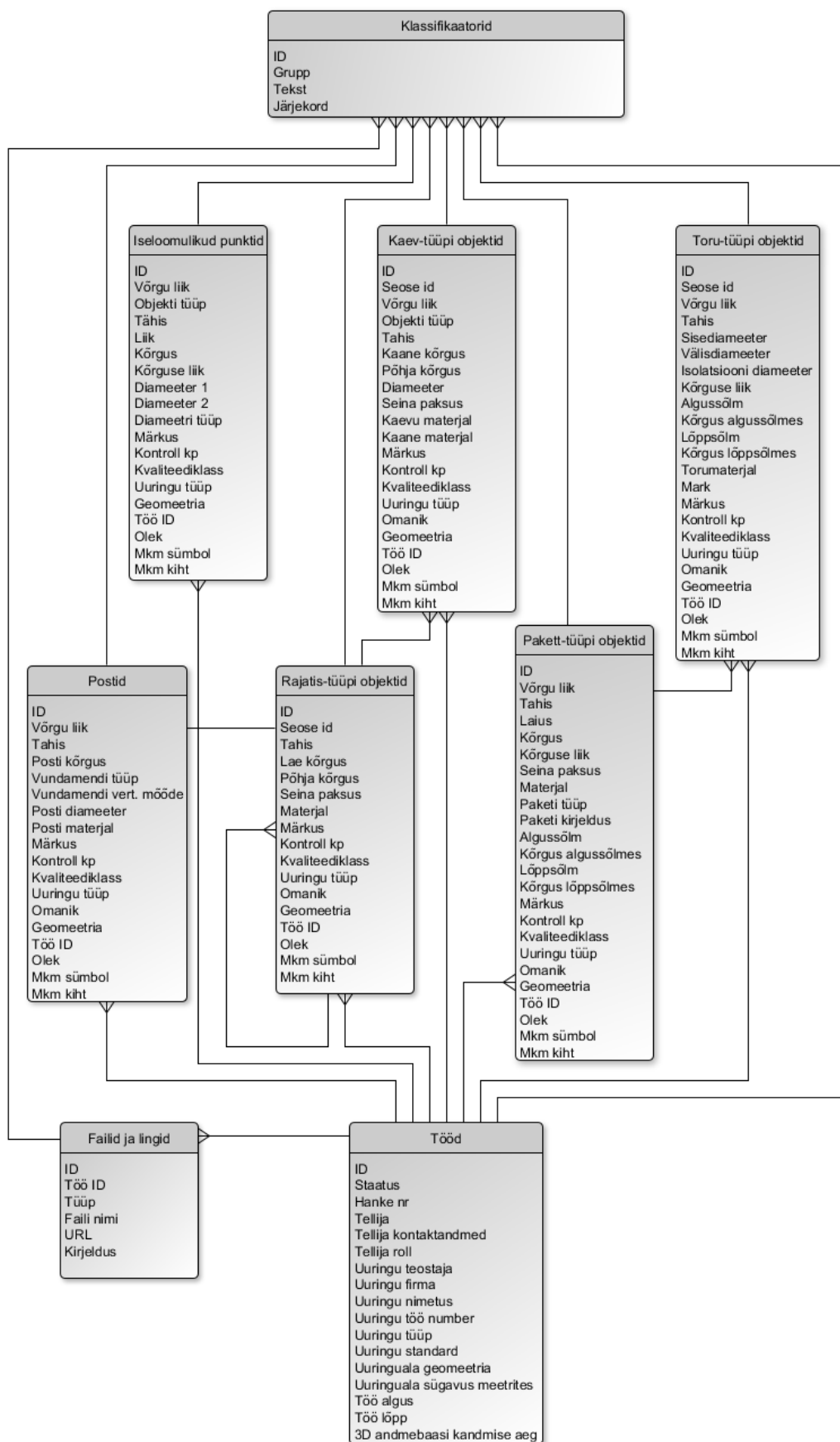
Ainsa vabavaralise andmebaasiplatvormina saab kaaluda väga konkurentsivõimelist PostgreSQL/PostGis andmebaasi kasutamist. Oma 3D funktsioonide võimekuselt pakub PostgreSQL/PostGis kohati suuremaid võimalusi kui litsentseeritud tasulised andmebaasid ja seda oluliselt odavamate halduskulude juures.

#### *4.3.6.1 Andmebaasi struktuur*

Andmebaasis salvestatakse:

- Töö andmed koos tööpiiriga
- 3D objektid koos andmetega
- 3D objektide muudatuste ajalugu
- Objektide ja töödega seotud failid, dokumendid või lingid
- Klassifikaatorid

Andmebaasi tabelid ja seosed ilma objektide muudatuste ajalugu käsitlevate tabeliteta on toodud joonisel: failid, dokumendid või lingid seotud tööga. Mõistlik on laiendada tabelite struktuuri viisil, et faile, dokumente ja linke oleks võimalik seostada ka otse objektidega.



Joonis 14. Andmebaasi tabelid ja seosed

#### 4.3.6.2 Klassifikaatorid

Kasutusele tuleb võtta ühtne klassifikaatorite (valikväärtuste) süsteem. Klassifikaatorite tabeli eesmärk on minimeerida oluliste omaduste sisestamisel vigade tekkimise tõenäosust. Klassifikaatorid tuleb teha kättesaadavaks ka CAD keskkondade kasutajatele ning neid tuleb kasutada atribuutide lisamisel. Olenevalt lõplikust süsteemi ülesehitusest võib klassifikaatoreid hoida ühes tabelis või atribuudi domeenidena. Klassifikaatorite süsteemi loomisel tuleb arvestada Eestis kehtima hakkava CoClass-i <sup>21</sup> klassifitseerimise süsteemi põhimõtetega.

ID	Gupp	Nimetus	Järjekord
1	TORU MATERJAL	PVC	100
2	TORU MATERJAL	PE	101
3	TORU MATERJAL	PP	102
4	OLEK	Kasutuses	100
5	OLEK	Mittetöötav	101
6	OLEK	Likvideeritud	102

Tabel 15. Näide klassifikaatorite tabelist

#### 4.3.6.3 Objektide (2,5D) käsitlemise üldised põhimõtted

Uuringu teostamiseks väljastatakse objektid DGN või DWG formaadis. Uuringute käigus on võimalik saadud objekte muuta. Selleks, et tehtud muudatusi andmebaasis kajastada tuleb järgida 2,5D objektide käsitlemise põhimõtteid:

- 2,5D objektid väljastatakse tööpiiri alusel tervikobjektidena (tööpiir ei tükelda elemente)
- 2,5D objektid väljastatakse koos atribuutidega, sh andmebaasi ID
- Andmebaasist väljastatud objekti ei tohi failist kustutada
- Uurimistööde käigus looduses leidmata andmebaasist väljastatud elementi ei kustutata, vaid märgitakse kasutusest kõrvaldatud või demonteeritud olekusse
- Uurimistööde käigus mõõdistatud uus objekt lisatakse andmebaasi
- Uurimistööde käigus muudetud objekt (kuju või atribuudid) uuendatakse andmebaasi ID alusel
- TTO objektid kirjutatakse andmebaasi kas torutüüpi või rajatistüüpi elementidena
- Joonobjektide lõikamine on lubatud, lõikamise tulemusena peavad säilima atribuutandmed
- Joonobjektide lõike võib vajadusel ühendada
- Muudatusi võib teha ainult oma mõõdistusala piiri ulatuses

#### 4.3.7 Andmehalduse GIS vahendid

Lisaks eelnevalt käsitletud andmete haldamise CAD vahenditele, mida kasutatakse andmehõive faasis on andmehalduse faasis otstarbeks kasutada GIS vahendeid, mis võimaldavad vaadelda andmeid ruumiliste objektidena ning teha andmeanalüüse. GIS vahendid võimaldavad otseühendust andmebaaside ja veebiteenustega. Lisaks on võimalik tulevikus integreerida maa-aluseid ja

<sup>21</sup> <https://coclass.byggjanst.se/about#about-coclass>

maapealseid objekte ühte tervikvaatesse. GIS vahendite kasutamist tuleb kaaluda Andmehalduri töölaua väljatöötamisel.

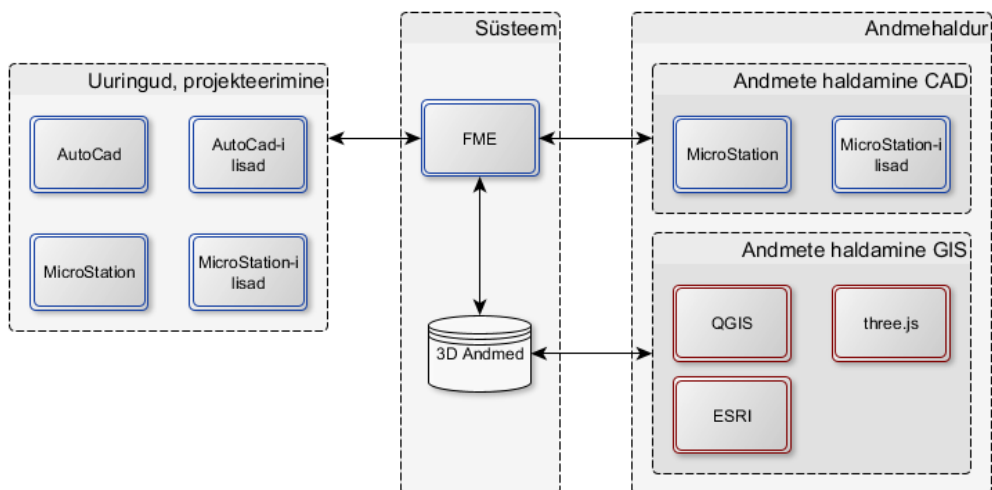
#### 4.3.7.1 ArcGIS

ArcGIS on litsentseeritud Geoinfosüsteem, mis sisaldab 2D ja 3D andmete visualiseerimise, redigeerimise, haldamise ja analüüsi vahendeid. ArcGis funktsionaalsus on laiendatav erinevate programmeerimiskeelte abil.

#### 4.3.7.2 QGIS

QGIS on vabavaraline Geoinfosüsteem. QGIS-i funktsionaalsust on võimalik laiendada Pythoni rakenduste abil. 3D objektide visualiseerimiseks on loodud väga hea lisarakendus Qgis2threejs. QGIS võimaldab hallata 3D objektide atribuute ja muuta 3D geomeetriaid. Kuna tegemist on vabavaralise avatud lähtekoodiga süsteemiga on võimalik funktsionaalsust edasi arendada.

### 4.3.8 Andmehaldussüsteemi komponendid



Joonis 15. Andmehaldusega seotud komponendid

### 4.3.9 Arendamist vajavad teenused

#### 4.3.9.1 Failide automaatkontroll

Failide automaatkontrolli eesmärgiks on kontrollida uuringutulemuste vormistuse ja loogika vastavust kehtestatavatele 2,5D nõuetele. Kontrolli tulemusena väheneb töökoormus ja paraneb andmete kvaliteet.

#### *4.3.9.2 Andmete import*

Andmete importimise teenuse eesmärgiks on laadida andmed 2,5D CAD failidest 3D andmebaasi. Importimise käigus laetakse andmebaasi uued elemendid, tuvastatakse olemasolevate objektide muudatused ja viiakse need andmebaasi.

#### *4.3.9.3 Andmete eksport*

Andmete eksportimise teenuse eesmärgiks on kirjutada andmed 3D andmebaasist 2,5D CAD failidesse või 3D failidesse kokkulepitud formaadis. Väljund formaatide valikut võib laiendada vastavalt soovidele ja vajadustele.

#### *4.3.9.4 Konverter (DGN <-> DWG)*

Ehitusprotsessis kasutavad esinevad osapooled sageli erinevat CAD tarkvara. Seega on vajadus formaatide vahelise konverteerimise järele. DGN <-> DWG konverteri eesmärgiks on teisendada 2,5D geometriat koos atribuutandmetega AutoCadi-st MicroStationisse ja vastupidi.

#### *4.3.9.5 3D andmete visualiseerimine*

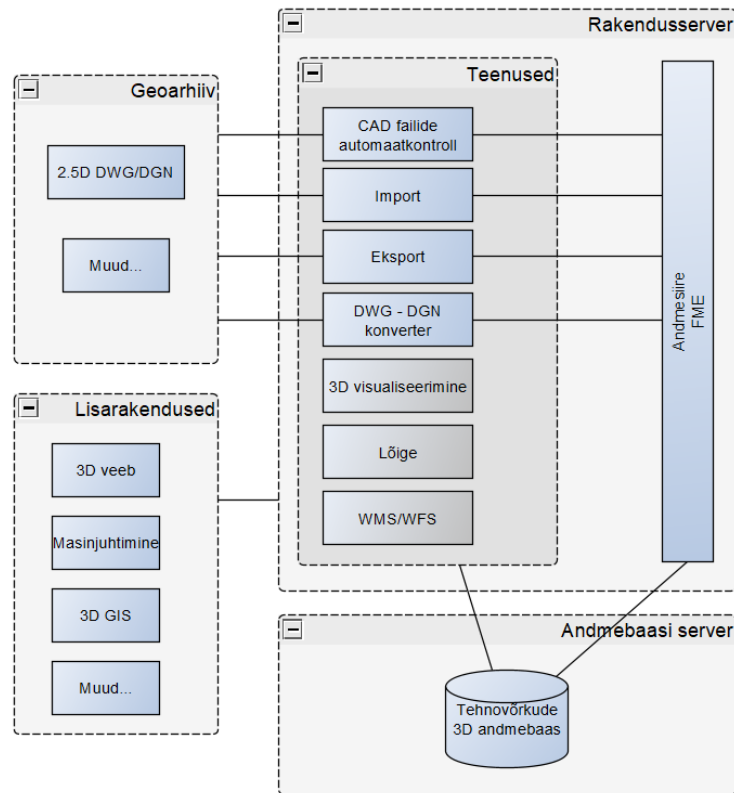
Teenuse eesmärgiks on reaalajas andmevoo väljastamine liitreaalsuse (AR) , virtuaalreaalsuse (VR) rakenduste või 3D veebikaartide (näiteks Eesti 3D digitaalse kaksiku) tarbeks.

#### *4.3.9.6 Lõige*

Teenuse eesmärgiks on otsuste kiirendamine planeerimise ülesannete täitmisel. Kasutaja saab tõmmata kaardile lõikejoone temale huvipakkuvas kohas , mille tulemusel genereeritakse lõikuvatest tehnovõrkudest ristlõige koos kõrguste ja muude oluliste tehniliste omadustega.

#### *4.3.9.7 WMS/WFS*

Standardsed WMS/WFS teenused objektide paiknemise ja omaduste edastamiseks välistesse süsteemidesse.



Joonis 16. Teenused ja komponendid

Protsessi toimimiseks on joonisel toodud teenustest vaja kindlasti välja arendada järgmised teenused:

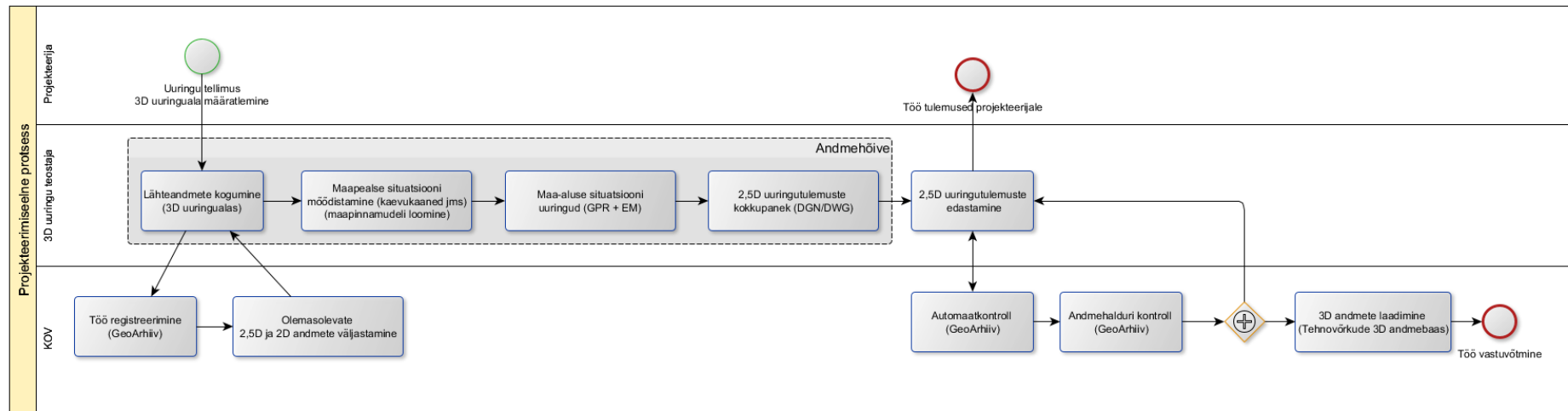
- 2,5D failide automaatkontroll
- 2,5D andmete import
- 2,5D andmete eksport
- DGN <-> DWG konverter

#### 4.4 Andmehalduse üldine protsess

Andmehalduse protsess jaguneb projekteerimiseelseks ja ehitusjärgseks protsessiks. Andmehalduse vaates on protsessid sarnased. Põhilised erinevused on andmehõive osas. Andmete siirdamine on kavandatud läbi Tallinna Geoveebi. Antud töös on eeldatud, et kõik uuringud ja teostusjoonised esitatakse Tallinnas Geoveebi.

#### 4.4.1 Projekteerimise eelse protsessi üldine kirjeldus:

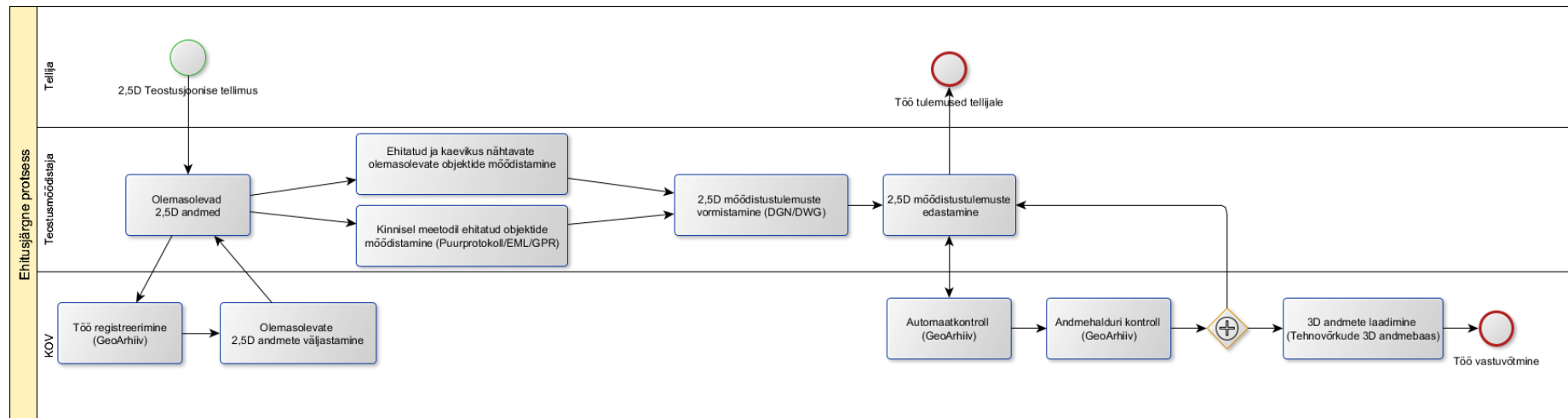
- Töö registreerimine Geoarhiivis
- Olemasolevate 2D ja 2,5D andmete väljastamine
- Maapealse situatsiooni mõõdistamine (kaevukaaned, maapinna iseloomulikud punktid, murdejooned jms )
- Maa-aluse situatsiooni uuring (kaevude uuring, GPR, EML)
- 2,5D uuringutulemuste kokkupanek (DGN, DWG)
- 2,5D uuringutulemuste edastamine Geoarhiivi
- Kontrollitud tulemuste edastamine tellijale
- 2,5D objektide laadimine 3D tehnovõrkude andmebaasi 3D objektideks





#### 4.4.2 Ehitusjärgse protsessi üldine kirjeldus:

- Töö registreerimine Geoarhiivis
- Olemasolevate 3D andmete väljastamine
- Mõõdistamine
  - Ehitatud ja kaevikus nähtavate olemasolevate objektide mõõdistamine
  - Kinnisel meetodil ehitatud objektide mõõdistamine (puurprotokoll/GPR/EML)
- Mõõdistustulemuste vormistamine
- 2,5D teostusjoonise edastamine Geoarhiivi
- Kontrollitud tulemuste edastamine tellijale
- 2,5D objektide laadimine 3D tehnovõrkude andmebaasi 3D objektideks



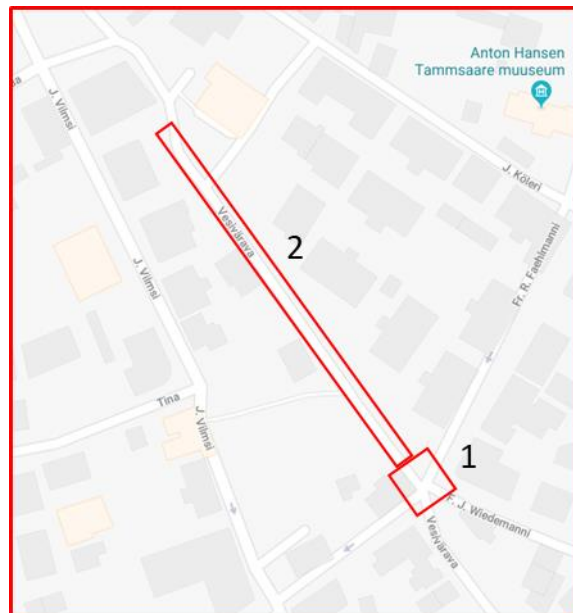
## 5. UURINGU LÄBIVIIMINE VESIVÄRAVA TÄNAVAL

### 5.1 Uuringu eesmärk

Georadarite (GPR) uuring viidi läbi eesmärgiga hinnata georadari tehnoloogia sobivust, võimekust ja usaldusväärsust maa-aluste kommunikatsioonide uuringute läbiviimiseks. Lisaks hinnati, millist potentsiaalset lisaväärtust annab georadar terviklikule maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamise ja kaardistamise protsessile. Georadari uuringu lisanduv eesmärk oli erinevat tüüpi georadarite testimine, et mõista, millised on erinevate tüüpide võimalused ja puudused. Selleks valiti testimiseks võimalikult lai valik maa-aluste kommunikatsioonide kaardistamiseks sobivaid georadareid. Samal ajal ei olnud uuringu eesmärk valitud georadarite omavaheline võrdlemine, vaid iga konkreetse georadari võimekuse ja sobivuse hindamine.

### 5.2 Uuringu teostamise koht

Uuringu piirkonnaks valiti Vesivärava tn Tallinnas. Vesivärava tänav on hiljuti renoveeritud ning selle kohta on olemas osaliselt vajalik dokumentatsioon, millega uuringu käigus kogutud andmeid võrrelda. Täielikult on renoveeritud vee-, kanalisatsiooni- ja sademeveetorustik ning nende kohta on koostatud teostusjoonised. Lisaks paiknevad tänaval elektri- ja sidekaablid, mille kohta on olemas info geaalustelt.



Joonis 17. 1 - Vesivärava, F. R. Faehlmanni ja Wiedemanni tn ristmik  
2 - Vesivärava tn lõigus Raua tn – F. R. Faehlmanni tn

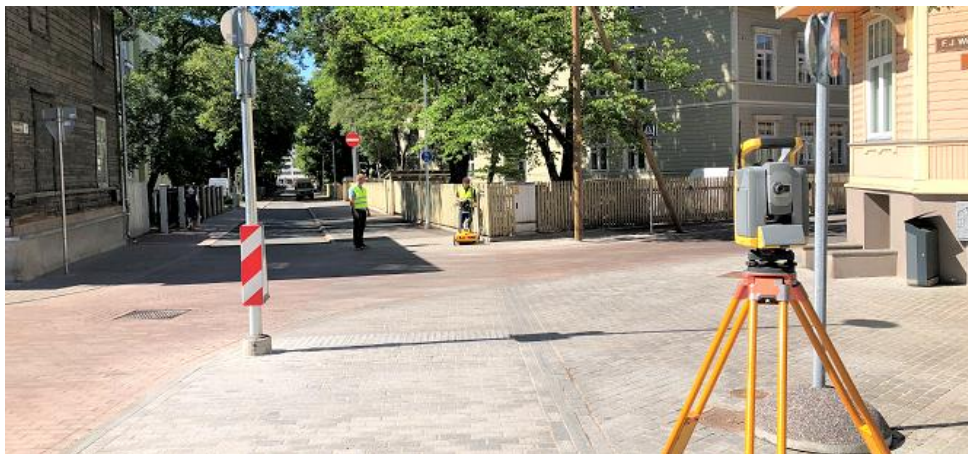
Suurte georadarite testimised viidi läbi Vesivärava tänava lõigul Raua tn – F. R. Faehlmanni tn, kuna antud tänavalõik on vähese liiklusega ning sellel ei ole autode parkimise kohti, mis oleks võinud takistada georadari uuringuid. Tänavalõigu pikkus on ca 220 meetrit ning laius koos mõlemas ääres asuva kõnniteega kokku ca 9 meetrit.

Vesivärava tänava lõigul Raua tn – F. R. Faehlmanni tn kasvavad lõuna suunal kõrged puud ning sellega seoses ei olnud võimalik positsioneerimiseks kasutada GNSS seadet, vaid tuli kasutusele võtta elektrontahhümeeter. See seadis testimisel osaliselt piiranguid liikumisvabadusele.



*Pilt 13. Vesivärava tn Raua tn poolt vaadates koos IDS Stream EM georadariga*

Lisaks viidi testimised läbi käsitsi lükatavate georadaritega Vesivärava, F. R. Faehlmanni ja Wiedemanni tänavate ristmikul, kuna antud kohas on palju ristuvaid maa-aluseid kommunikatsioone. Sellel ristmikul mõõdistati ala suurusega ca 300 m<sup>2</sup>.



*Pilt 14. Vesivärava, F. R. Faehlmanni ja Wiedemanni tänavate ristmik koos tahhümetri ja IDS Opera Duo georadariga*

### 5.3 Uuringus kasutatud seadmed

Seadmete testimise eesmärk oli saada võimalikult hea ülevaade georadarite võimekusest. Selleks valiti testimiseks võimalikult erineva funktsionaalsusega ja võimekusega georadarid. Vastavalt kogutud infole ja läbiviidud uuringule otsustati uuring teostada nelja tootja georadaritega: IDS GeoRadar (Itaalia), ImpulseRadar (Rootsi), Malå Geoscience (Rootsi) ja 3D-Radar (Norra).

Uuringu ettevalmistamise käigus toimusid eelmõõtmised GSSI (USA) georadariga SIR 3000 ning 270 MHz antenniga. Eelmõõtmise eesmärk oli saada ülevaade pinnasetüübist ja muudest testimist mõjutavatest teguritest.

GSSI georadariga kogutud andmetega tutvuti peamiselt kohapeal.



Pilt 15. Georadar GSSI SIR 3000 ja 270 MHz antenn



Pilt 16. Preet Willbach (PhD), Hannes Tõnisson (PhD) ja SIR 3000

### 5.3.1 IDS GeoRadar

Itaalia ettevõtte IDS GeoRadar on välja arendanud spetsiaalselt maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamiseks ja kaardistamiseks mõeldud georadarid. IDS georadaritega viidi testimised läbi ajavahemikul 12.06.2018 – 14.06.2018. Testimise ajal oli ilm ilma sademeteta. Testimiseks valiti kolm erineva suuruse ja funktsionaalsusega radarit:

- **Opera Duo** – Kõige väiksem ja lihtsam ühe skaneerimisliini georadar. Opera Duo on kahe antenniga ja see võimaldab seadmel kasutada kahte keskmist sagedust: 250 ja 700 MHz. Madalam sagedus võimaldab tuvastada objekte sügavamalt, kuid ainult suuremaid objekte ja väiksema resolutsiooniga. Kõrgema sagedusega on võimalik tuvastada väiksemaid objekte ning parema resolutsiooniga, kuid maapinnale lähemalt. Opera Duo on väga kompaktne seade ja teda on lihtne transportida näiteks sõiduautos. Seadme kasutusele võtmine käib kiiresti ega vaja erilisi ettevalmistusi, samuti on seda lihtne käsitleda. Opera Duo-l on sisemine GNSS, aga täpseks positsioneerimiseks saab selle ühendada kõikide väliste positsioneerimiseseadmetega, mis suudavad väljastada NMEA või PseudoNMEA formaadis andmevoogu. Opera Duo-ga tehtud uuringu tulemusi saab järeltöötlustarkvarast eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



Pilt 17. Olav Harjo IDS Opera Duo testimisel Vesivärava tn-l

- **RIS MF Hi-Mod** – See on georadar, kus mitu antenni on asetatud kõrvuti raamile ning mis võimaldab ühe läbimisega skaneerida mitu profiili korraga. See on modulaarne seade, kuhu võib panna kuni neli antenniplokki (kuni 8 kanalit) ning seeläbi kaardistada korraga kuni 2 meetri laiuse ala. RIS MF Hi-Mod kanalivaheline kaugus on 40 cm. Seadmel saab kasutada kahe keskmise sagedusega antenne, kas 200 ja 600 MHz või 400 ja 900 MHz. Testimisel kasutati kahe antenniplokiga (4 kanalit) seadet keskmise sagedusega 200 ja 600 MHz. RIS MF Hi-Mod-l on sisemine GNSS, kuid täpseks positsioneerimiseks saab seda ühendada kõikide väliste positsioneerimiseseadmetega, mis suudavad



väljastada NMEA või PseudoNMEA formaadis andmevoogu. Kogutud andmete järeltöötamiseks kasutatakse *Gred HD 3D Software* tarkvara, millest saab tulemusi eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



*Pilt 18. Olav Harjo IDS RIS MF Hi-Mod testimisel Vesivärava tn-l*

- **Stream EM** – See on kõige suurem testimisel kasutatud georadar, kus 40 antenni on ühendatud üheks terviklikuks antennimassiiviks. See on kõrgresolutsiooniga antennimassiiviga georadar, mille kanalivahe on ca 6 cm, seega kogutakse sellega andmeid mitmeid kordi tihedamalt, kui RIS MF Hi-Mod või Opera Duo-ga. Testimisel kasutatud seadmel oli 32 vertikaalse polaarsusega 200 MHz antenni, 4 horisontaalse polaarsusega 200 MHz antenni ja 4 horisontaalse polaarsusega 600 MHz antenni. Stream EM on suur auto järelhaagisena veetav seade, mille laius on 2,5 meetrit, ehk laiem kui tavaline sõiduauto ning selle transportimiseks on vaja spetsiaalset laia autotreilerit. See georadar võimaldab suurte maa-alade kaardistamist vähese ajakuluga, kuid kuna vajab manööverdamiseks suuremat ruumi, siis ei pääse sellega igale poole. Käesoleva testimispiirkonna jaoks oli seade liiga suur.



*Pilt 19. IDS Stream EM testimine Vesivärava tn-l*

### 5.3.2 3D-Radar

Norra ettevõtte 3D-Radar on spetsialiseerunud muutvsagedusega georadarite tootmisele. Nende toodang on laialdaselt kasutusel nii militaarvaldkonna kui tsiviilehituses (teekonstruktsioonide, sildade ja lennuradade uuringud). Järjest enam kasutatakse nende seadmeid ka maa-aluste kommunikatsioonide kaardistamiseks. 3D-Radari georadariga viidi testimised läbi ajavahemikul 03.07.2018 – 05.07.2018. Testimise ajal oli ilm ilma sademeteta.

- **GeoScope ja DXG Antenna Array** – GeoScope on georadari kontroller, millega saab ühendada erineva suuruse ja funktsionaalsusega kõrgresolutsiooniga antennimassiive. Maa-aluste kommunikatsioonide kaardistamiseks kasutatakse maaga kontaktis olevaid antennimassiive: DXG, mis on laiusel 0,9; 1,2 või 1,8 meetrit. Testimisel kasutati 1,2-meetrise laiusega DXG tüüpi antennimassiivi. Antennil on 12 kanalit ja kanalivahe on 7,5 cm. Seega võimaldab see koguda ühe läbimisega andmeid tihedalt ning saada seeläbi kõrge resolutsiooniga kolmemõõtmeline andmestik. Eriliseks teeb seadme see, et see oli testimisel ainuke seade, mis kasutab muutuvagedus tehnoloogiat. See tähendab, et iga pinnasesse saadetud elektromagnetlainet on erineva sagedusega vahemikus 100 MHz kuni 3000 MHz. Lisaks toimub selle seadmega andmehõive sageduspõhise määramisega, mis hiljem tarkvaraliselt arvutatakse ajapõhisesse määramisse. See võimaldab kasutada järeltöötluses rohkem infot, kui traditsiooniliste impulss radaritega. GeoScope-l on enda sisemine GNSS, kuid täpseks positsioneerimiseks saab teda ühendada kõikide väliste GNSS seadmetega, mis suudavad väljastada NMEA formaadis andmevoogu. Erinevalt teistest georadaritest ei toeta see PseudoNMEA formaadis andmevoogu, st elektrontahhomeetrit kasutades tuleb positsioneerimise andmed eraldi salvestada ja neid andmeid saab kasutada järeltöötluse käigus. Seega puudub reaajas info selle kohta, kas asukohaandmed on koos radargrammidega kasutatavad või mitte. Testimisel kasutatud seade oli auto järelhaagisena veetav, mis võimaldab kaardistada suuri maa-alasid vähesel ajakuluga. Kuna seade vajab manööverdamiseks suuremat ruumi, siis ei pääse sellega igale poole. Samas on seadet võimalik paigutada ka inimese poolt lükatavale kärule.



*Pilt 20. Emmanuel Thibaut, Andres Kärk ja Raul Rökk 3D-Radar GeoScope testimisel Vesivärava tn-l*

### 5.3.3 MALÅ

Rootsi ettevõtte Guideline Geo AB (MALÅ) toodab erineva otstarbe ja võimekusega georadreid. Maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamiseks ja kaardistamiseks on neil lihtsamad ühe skaneerimisliini Easy Locator seeria radarid ning täiuslikumad ProEx kontrolleril põhinevad radarid. MALA georadaritega viidi testimised läbi ajavahemikul 10.07.2018 – 12.07.2018. Testimise ajal oli ilm ilma sademeteta. Testimiseks valiti kõige uuem ühe skaneerimisliini georadar Easy Locator Pro WideRange HDR ja ProEx kontrolleril põhinev antennimassiiviga georadar MIRA.

- **Easy Locator Pro WideRange HDR** – See seade on oma põhiomadustelt sarnane testimisel osalenud IDS-i seadmega Opera Duo. Nende peamine erinevus seisneb signaalitöötlemises, mis on Easy Locator Pro WideRange HDR-l oluliselt kiirem ja täiuslikum. Sarnaselt Opera Duoga, on Easy Locator Pro WideRange HDR kahe antenniga ja see võimaldab seadmel kasutada kahte keskmist sagedust: 160 ja 650 MHz. Sellest tulenevalt peaks tegelik sagedusvahemik olema 80 – 950 MHz. Madalam sagedus võimaldab tuvastada objekte sügavamal, aga ainult suuremaid objekte ja väiksema resolutsiooniga. Kõrgema sagedusega on võimalik tuvastada väiksemaid objekte ning parema resolutsiooniga, aga

maapinnale lähemalt. Easy Locator Pro WideRange HDR on väga kompaktne seade ning teda on lihtne transportida sõiduautos. Selle kasutusele võtmine käib kiiresti ega vaja erilisi ettevalmistusi, samuti on seda lihtne käsitleda. Easy Locator Pro WideRange HDR-l on sisemine GNSS, aga täpseks positsioneerimiseks saab selle ühendada välise positsioneerimisseadmega, mis suudab väljastada NMEA andmevoogu. Wide Range-i ei ole võimalik ühendada TS-ga. Easy Locator Pro WideRange HDR-ga kogutud andmete töötlus teostatakse üldjuhul MALÅ Object Mapper programmiga B-scani ehk kahemõõtmelise radargrammi järgi. Lõplikud uuringu tulemused on kolmemõõtmelised ning neid saab järeltöötlustarkvarast eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



Pilt 21. Mike Langton, Elin Johansson ja MALÅ Easy Locator Pro WideRange HDR Vesivärava tn-l

- **MIRA** - See on kõrgresolutsiooniga antennimassiiviga georadar, mille antennide vahe on ca 5 cm, seega kogutakse andmeid mitmeid kordi tihedamalt kui ühe skaneerimisliini radariga. Testimisel kasutatud seade oli MIRA väiksem versioon, millel on 8 kanalit ja antennide keskmine sagedus 400 MHz. See inimese poolt lükatav seade on ca 1 meetri laiune ning kuna sellega on parem manööverdada kui auto järelhaagisena veetava seadmega, siis toimus sellega testobjektil skaneerimine kiiremini kui suuremate seadmetega. MIRA-l on sisemine GNSS, kuid täpseks positsioneerimiseks saab seda ühendada kõikide välise positsioneerimisseadmetega, mis suudavad väljastada NMEA või PseudoNMEA andmevoogu. MIRA-ga tehtud uuringu tulemusi saab järeltöötlustarkvarast rSlicer eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



Pilt 22. Mike Langton, Elin Johansson, Vallo Padari ja MALÅ Mira Vesivärava tn-l

### 5.3.4 ImpulseRadar

Rootsi ettevõtte ImpulseRadar toodab uue põlvkonna georadareid, mis põhinevad uusim Real-Time Sampling (RTS) tehnoloogial. Nende GPR-d on jagatud kolme tooteperekonna vahel:

- PintPointR – lihtne ühekanaliline ja kahe sagedusega seade, mis on välja töötatud spetsiaalselt maa-aluste tehnovõrkude tuvastamiseks;
- CrossOver – paljude võimaluste ja konfiguratsioonidega ühekanaliline ja kahe sagedusega seade, mis sobib väga erinevate uuringute läbiviimiseks;
- Raptor – paljude võimaluste ja konfiguratsioonidega antennimassiiviga 3D georadar

ImpulseRadari georadaritega viidi testimised läbi ajavahemikul 19.03.2019 – 21.03.2019. Testimise ajal oli ilm niiske ja osaliselt vihmane. Maapind oli osaliselt sulanud, kuid suures osas veel külmunud. Testimiseks valiti ühe skaneerimisliini georadar CrossOver ja antennimassiiviga georadar Raptor.

**CrossOver** – See georadar on oma põhiomadustelt ja funktsioonidelt sarnane testimisel osalenud MALA EL WR-ga ja IDS-i seadmega Opera Duo. Nende peamine erinevus seisneb tehnoloogias. CrossOver kasutab uutset Real-Time Sampling (RTS) tehnoloogiat, mis võimaldab väga head ribalaiust ja dünaamilist ulatust, mis tähendab nii paremat resolutsiooni kui ka suuremat uurimissügavust. Lisaks ei ole tänu RTS tehnoloogiale praktiliselt piirangut andmete kogumise kiirusele, võimaldades andmeid koguda kuni 130 km/h kiirusel. Sarnaselt MALA EL WR ja Opera Duoga, on CrossOver kahe kesksagedusega: 400 ja 800 MHz. Madalam sagedus võimaldab tuvastada objekte sügavamal, aga ainult suuremaid objekte ja väiksema resolutsiooniga. Kõrgema sagedusega on võimalik tuvastada väiksemaid objekte ning parema resolutsiooniga, aga maapinnale lähemalt. CrossOver on väga kompaktne seade ning teda on lihtne transportida sõiduautos. Selle kasutusele võtmine käib kiiresti ega vaja erilisi ettevalmistusi, samuti on seda lihtne käsitleda. CrossOveril on sisemine GNSS, aga täpseks positsioneerimiseks saab selle ühendada välise positsioneerimiseseadmega, mis suudab väljastada NMEA andmevoogu. CrossOverit ei ole võimalik ühendada TS-ga. CrossOveriga kogutud andmete töötlus teostatakse üldjuhul CrossPoint programmiga B-scani ehk kahemõõtmelise radargrammi järgi. Lõplikud uuringu tulemused on kolmemõõtmelised ning neid saab järeltöötlustarkvarast eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



Pilt 23. Mikael Burman ja ImpulseRadar CrossOver Vesivärava tn-l

**Raptor** – See on kõrgresolutsiooniga antennimassiiviga 3D georadar, mille antennide vahe on sõltuvalt kasutatavast sagedusest 4–8 cm, seega kogutakse andmeid mitmeid kordi tihedamalt kui ühe



skaneerimisliini radariga. Testimisel kasutatud seade oli Raptoril väiksem versioon, millel on 8 kanalit ja antennide keskmine sagedus 450 MHz. See inimese poolt lükatav seade on ca 1 meetri laiune ning kuna sellega on parem manööverdada kui auto külge kinnitatava seadmega, siis toimus sellega testobjektidel skaneerimine kiiremini kui suuremate seadmetega.

Raptoril on sisemine GNSS, kuid täpseks positsioneerimiseks saab seda ühendada kõikide väliste positsioneerimiseseadmetega, mis suudavad väljastada NMEA või PseudoNMEA andmevoogu. Raptoriga-ga tehtud uuringu tulemusi saab järeltöötlustarkvarast GPR Slice eksportida CAD, GIS jms tarkvaradesse.



Pilt 24. Christer Gustafsson, Vallo Padari, TS ja ImpulseRadar Raptor Vesivärava tn-l

### 5.3.5 Leica ja Trimble

Georadarite testimisel kasutati järgmisi Leica ja Trimble positsioneerimise seadmeid:

- Trimble R6 GNSS seade
- Leica Viva GNSS GS15 seade
- TRIM TRIMBLE S6 DR PLuS™ Robot tahhümeeter
- Leica Viva TS12 Robotic - Robot tahhümeeter

## 5.4 Testimise läbiviimise meetodikad

Testimised viidi läbi kaheksa erineva georadariga ning radari profiilide sidumiseks asukoohaandmetega kasutati nii RTK-GNSS seadet kui elektrontahhhomeetrit (Total Station – TS), mis tingis erinevate meetodikate kasutamise testimise käigus. Enne testimise läbiviimist tutvuti valitud piirkonna maa-aluste kommunikatsioonide olemasoleva dokumentatsiooniga: teostusjoonised, geoalused ja kaardid. Viidi läbi testpiirkonna asukoha ülevaatus, et saada ettekujutus ümbritsevast olukorrast, liikumisvõimalustest ja objektidest, mida georadaritega kaardistama hakatakse. Asukoha ülevaatus käigus anti hinnang erinevate georadarite kasutamise võimalikkusele ning selle käigus sai selgeks, et testiobjektidel ei ole suures osas GNSS-i kasutamine kõrgete puude pärast võimalik. GNSS-i kasutamine linnatingimustes on üldiselt raskendatud kõrgete hoonete ja puude tõttu ning satelliitide signaal katkendlik ja sellest tulenevalt on mõõdistamise kvaliteet ebaühtlane 2 cm – 2 m. Kõige parema tulemuse saab GNSS + TS kombineeritud meetodiga.

#### 5.4.1 Georadarite ettevalmistamine testimiseks

Kõik georadarid seadistati ja kalibreeriti enne testimist, et saadud andmete kvaliteet oleks piisavalt hea nende edasiseks töötamiseks. Testimisel kasutatud georadaritel olid erinevad seadistamise võimalused, kuid põhilised seadistamised tehti kõikidel seadmetel:

**Odomeetri kalibreerimine** – kuna skaneerimisel kasutati kõikidel radaritel teekonna pikkuse režiimi, siis odomeetri järgi saatis radar maapinda elektromagnetlaineid. Selleks, et skaneerimine toimuks alati etteantud sagedusega ja ühtlase tihedusega on vaja täpset ja toimivat odomeetrit. Odomeetri kasutamine on kindlasti vajalik ka uuringutes, mis viiakse läbi maatriksi põhimõttel ja ilma välise positsioneerimise seadmeta. Odomeetri kalibreerimiseks märgiti testimisel maha 10-meetrine teekond, sõideti georadariga täpselt 10 meetrit ning sisestati teekonna pikkus georadari seadistustesse;

**Pinnase dielektrilise väärtuse määramine** – see on vajalik uuringualal kohapeal objektide sügavuse määratlemiseks. Kui kohapeal ei ole kohene objekti sügavuse täpne määratlemine oluline, saab antud parameetrid seadistada hiljem järeltöötlustarkvaras. Testimiste läbiviimise käigus täpset pinnase dielektrilist väärtust ei tuvastatud, vaid kasutati keskmisi väärtusi;

**Maksimaalse sügavuse seadistamine** – georadaritel sai seadistada, milline on maksimaalne sügavus, kust soovitakse andmeid koguda. Testimisel määrati üldjuhul maksimaalseks ajaks, mille vältel tagasipeegeldunud signaali salvestatakse 100 ns.;

**Taustafiltrite seadistamine** – taustafiltrite kasutamine kõrvaldab uuringust horisontaalsed „segajad“, mis võivad tuleneda näiteks georadari laine peegeldusest maapealsetelt objektidelt. Testimiste käigus kasutati kõikide georadaritega taustafiltrit;

**Signaali võimsuse reguleerimine** – vastavalt pinnasetüübile, ilmastikutingimustele jms võib olla vajalik võimendada tagasipeegeldunud impulsi amplituudi, et selgemini tuvastada otsitavaid objekte. Testimiste käigus kasutati peamiselt automaatse võimsuse reguleerimise režiimi, mis peaks tagama parima peegelduste ja müra suhte. Tagasipeegeldunud signaali amplituudi on võimalik reguleerida ka hiljem andmete järeltöötamise faasis.

#### 5.4.2 Positsioneerimise meetodid

Kõikidel GPR seadmetel on sisemine GNSS (Global Navigation Satellite System) seade, mis ei ole küll piisava täpsusega positsioneerimiseks ning mille põhiline ülesanne on salvestada võimalikult täpselt aega. Kõikidele georadari profiili andmetele salvestatakse täpne skaneerimise aeg. Samuti salvestatakse aeg välistes kõrgetäpsuses GNSS seadmetes. Väline GNSS seade edastab georadarile NMEA andmeformaadis täpse aja ja asukoha koordinaadid. Sama loogika toimib ka elektrontahhomeetri (Total Station – TS) puhul. Juhul kui TS toetab PseudoNMEA formaati, siis salvestatakse asukohaandmed ja aeg analoogselt eeltoodud kirjeldusele.

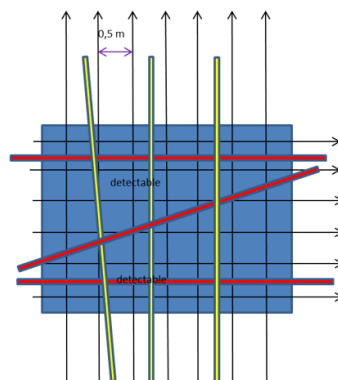
Kõige lihtsam on asukoha määramisel kasutada **RTK-GNSS meetodit**, kus asukoha parandid saadakse VRS võrgust (GNSS püsijaamadest koosnev referentsjaamade võrk). Selle meetodi kasutamisel peab arvestama, et mõõtmise piirkonnas oleks tagatud järgmised nõuded:

- mõõdistamisel kasutatavad seadmed peavad olema vähemalt kahesageduslikud (L1/L2);
- mõõdistamisi võib teostada kuni 30 km kaugusel baasjaamast, võrgu RTK levialas;
- kuni 40 km kaugusel kahest lähimast baasjaamast;
- ühiste satelliitide arv baasjaamas ja mõõdistamise kohas peab olema vähemalt 5;
- PDOP ei või mõõtmise ajal olla suurem kui 2,5.

Linnakeskkonnas, kus uuringu piirkonnas varjavad satelliitide nähtavust kõrged majad või puud, tuleb kasutada elektrontahhometri (Total Station - TS) meetodit. Selleks tuleb võimalusel kasutada Pseudo NMEA formaadis andmevoogu, mis saadetakse georadarisse või salvestada TS ja georadari andmed eraldi. Kuna asukohaandmed ja georadari andmed seotakse omavahel kasutades aega, siis on äärmiselt oluline, et TS väljundisse oleks salvestatud ka mõõtmise aeg minimaalselt 1 sekundi täpsusega. Juhul kui GPR seade ei toeta ristkoordinaatide süsteeme, tuleb andmed teisendada WGS84 koordinaatidesse. Iga mõõtmise algusesse ja lõppu tuleb mõõta samasse kohta vähemalt 3 punkti. Näide 3D-Radari asukohaandmete failist: Aeg, B (WGS84), L (WGS84), Kõrgus (EH2000) 090617.40,5926.287798842794,2446.525987602970,4.028,. Kui georadari andmehõivel ei kasutata GNSS-i ega TS-i on võimalik teostada mõõdistamine georadari odomeetri meetodil. Selleks tuleb georadariga andmed korjata kindlate algus ja lõpp punktidega ning hiljem on võimalik saadud andmed referentspunktide abil L-Est koordinaatsüsteemiga siduda.

#### 5.4.3 Ühekanaliliste georadarite testimine

Väikeste georadaritega viidi läbi testimised Vesivärava, F. R. Faehlmanni ja Wiedemanni tänavate ristmikul. Kvaliteetsete andmete saamiseks skaneeriti radaritega kogu ristmik nii pikki kui ka risti suunas. Mõlemas suunas skaneerimine on väikeste seadmetega vajalik selleks, et juhuslikult ei jääks skaneerimisega täpselt samas suunas kulgev kommunikatsioon märkamatuks kahe skaneerimisliini vahele. Kuna kõigil testimisel kasutatud väikestel georadaritel olid antennid horisontaalse polaarsusega, siis võivad georadarile jääda märkamatuks samas suunas kulgevad ja otse radari all olevad, hea elektrijuhtivusega metallist kommunikatsioonid.



Joonis 18. Andmete kogumine maatriksina (IDS 2018<sup>22</sup>)

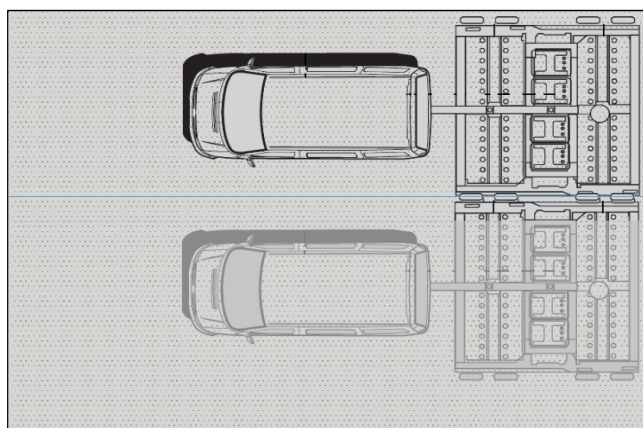
**MALA Wide Range-ga ja ImpulseRadar CrossOver-ga** toimus skaneerimine 0,5 meetriste vahedega. Selleks märgiti maha 0,5 m tagant skaneerimise alguse- ja lõpp-punktid. Selline meetod tähendas, et skaneerimisliinide vahele võis jääda maapinna lähedal „pime ala“, mida radar ei näinud. Samas nendel sügavustel, kus paiknesid peamised kommunikatsioonid, vahet ei jäänud.

IDS georadarite **Opera Duo ja RIS MF Hi-Mod** andmehõive tarkvara võimaldas reaajas jälgida georadari liikumist ning see kuvas ekraanile skaneerimisliini. Tänu sellele ei olnud vajalik eelnevalt skaneerimisliini tee peale maha märkida, vaid tuli sõitmise ajal jälgida, et ekraanil olevad skaneerimisliinid oleksid väikse ülekatttega.

<sup>22</sup> Utility mapping with IDSGeoRadar system, IDS 2018

#### 5.4.4 Antennimassiiviga georadarite testimine

Antennimassiividega georadaritega **IDS Stream EM, 3D-Radar, MALA Mira ja ImpulseRadar Raptor** toimus andmete kogumine ühesuunaliselt paanide kaupa ja väikse üle kattega. Nende georadaritega ei ole vajalik ristisuunas skaneerimine, kuna nende kanalivahe on väike (4-8cm). Lisaks on neil kõigil antennid vertikaalse polaarsusega, mis võimaldab väga hästi tuvastada just radari sõidusuunas kulgevaid kommunikatsioone.



Joonis 19. Andmete kogumine paanidena (IDS 2018<sup>23</sup>)

MALA Mira ja ImpulseRadar Raptor georadarid olid testimisel käsitsi lükatavad käruversioonid. Nendega toimus skaneerimine tavalisel jalakäia kiirusel.

Stream EM ja 3D-Radar on autohaagisena jäljelveetavad georadarid. Teoreetiliselt oleks võinud nendega skaneerimist teostada kahekümne kilomeetrise tunni kiirusega, aga reaalne sõidukiirus oli 5-10 km/h. Seda põhjusel, et kitsastes oludes täpseks sõidutrajektoori jälgimiseks ning liiklusmärkide jms vältimiseks ei olnud võimalik kiiremini sõita.

#### 5.5 Täiendav andmete täpsustamine testobjektil

Projekti testobjektil Vesivärava tänaval teostati ajavahemikul juuni – juuli 2018.a. ja märts 2019.a. andmehõive mitme eri tüüpi georadariga. Kogutud andmeid töödeldi spetsiaaltarkvaradega ning saadi georadari pilt testpiirkonnas asuvatest maa-alustest tehnovõrkudest. Lisaks koguti testpiirkonna tehnovõrkude kohta andmeid erinevatelt teostusjoonistelt, geodeetilistelt alusplaanidelt ja andmekogudest. Teostatud georadari uuringud ja andmekogudest saadud olemasolevad andmed tehnovõrkude kohta olid kohati erinevad ega olnud ka piisavad, et luua testpiirkonna tehnovõrkudest 3D mudelit. Sellepärast otsustati viia testobjektile läbi täiendavad uuringud. Täiendavate väliuuringute eesmärk oli kontrollida erinevusi andmetes ning saada 3D mudeli jaoks puuduvad andmed. Selleks viidi läbi järgmised tööd:

- Georadari uuringutest saadud andmete põhjal tuvastatud tehnovõrkude kõrvalekallete kontrollimine alternatiivsete meetoditega
- Tänavavalgustuse ja madalpinge kaablite asukoha ja sügavuse tuvastamine selles osas, mis jäi georadari profiilidest osaliselt välja

<sup>23</sup> Utility mapping with IDSGeoRadar system, IDS 2018

- Tee rekonstrueerimise käigus ümberehitatud siderajatiste uurimine, kuna sidevõrkude osas puudus teostusjoonis
- Maapinnamudeli mõõdistus

Täiendavad välitööd teostati Vesivärava tänaval ajavahemikul 20.11. – 12.12. 2018.

#### 5.5.1 Kasutatud seadmed

- GNSS seadmed - Leica GNSS GS15 ja Topcon Hyper+
- Tahhümeeter - Leica TS12 3"
- Nivelliir - Leica Runner 24
- Trassiotsija (EML) - Leica DigiCat550i ja Radiodetection RD8100

#### 5.5.2 Koordinaatvõrgustikuga sidumine

Koordinaatvõrguga sidumine LEST97 süsteemis tehti GNSS RTK mõõdistamise teel, kasutades HADNET püsijaamade võrgust saadud parandusi. Mõõdistuspunktid koordineeriti nii enne kui pärast tahhümeetrilisi mõõtmisi. Sellega saavutati punktide koordineerimine erinevate initsialiseerimistega ja ka erineva satelliitide asendiga. Mõõtmisel kasutatud GNSS vastuvõtja toetas nii GPS kui GLONASS satelliitide signaale. Punktide määramisel kasutatud parandid saadi reaajas, mis arvutati keskserveris Topnet+ tarkvaraga.

#### 5.5.3 Kõrguslik sidumine

Kuna meie laiuskraadil ei ole GNSS RTK mõõtmise kõrguslik täpsus linna tingimustes piisav, tehti kõrguslik sidumine nivelleerimiskäiguga. Nivelleerimine teostati edasi tagasi käiguna ühelt lähterepeerilt. Lähterepeer nr 131 H = 6,029 m asub uuringu alast 100 m kaugusel.

#### 5.5.4 Tahhümeetriline mõõdistamine

Tahhümeetriline mõõdistamine tehti lähtepunktidele instrumenti vabajaamana orienteerides. Mõõdistamisel kasutati puidust statiivi ja Leica 360 prismat ning alumiiniumsaa.

#### 5.5.5 Tänavavalgustuse kaablite tuvastamine EML kaabliotsijaga ja generaatoriga 33kHz

Tänavavalgustuse kaablite EML-iga tuvastamiseks kutsuti kohale tänavavalgustuse võrkude haldaja Elektrilevi esindaja. Kõik tänavavalgustuse juhtseadmed, mis asuvad välikappides, on elektroonilise valve all ja kapi omavoliline avamine ei ole lubatud. Kaablite asukoha ja sügavuse tuvastamiseks oli vajalik juurdepääs kaablitele. Kaablite asukoha määramiseks kasutati kaabliotsijat, generaatorit ja signaalitange. Signaalitangid on kontaktivabad ja neid on võimalik kaabli ümber ühendada nii, et kaabli tööd ei segata. 33kHz signaal indutseeritakse kaablisse kaablitangide abil ilma otse kaabli faasi külge ühendamata. Selle signaali tuvastamine võimaldas määrata leitud kaabli sügavust. Asukoht ja sügavus märgistati maapinnal ning hiljem mõõdistati märgitud punktid tahhümeetriliselt. Määratud sügavus sisestati mõõdistatud punkti koodi, mida hiljem kasutati kaabli 3D telgjoone loomisel.





*Pilt 25. Tänavavalgustuse kaablite tuvastamine EML-ga Vesivärava tn-l*

#### 5.5.6 Sademevee kanalisatsiooni mõõdistamine sondiga

Koostöös ettevõttega Lokaator OÜ teostati sademevee kanalisatsioonitorude asukoha määramine pistelise kontrollmõõdistamise käigus. Töö teostamiseks avati torustiku kaevud uuritava lõigu mõlemas otsas. Toru asukoha määramiseks kasutati fiibri otsa kinnitatud sondi. Sondi asukoht ja sügavus fikseeriti maapinnal Radiodetection RD8100 lokaatori abil. Asukoht ja sügavus märgistati maapinnal ning hiljem mõõdistati märgitud punktid tahhümeetriliselt. Määratud sügavus sisestati mõõdistatud punkti koodi, mida hiljem kasutati kaabli 3D teljoone loomisel.



*Pilt 26. Sademevee kanalisatsiooni mõõdistamine sondiga Vesivärava tn-l*

#### 5.5.7 Sidekanalisatsiooni kaevude uurimine ja mõõdistamine EML-iga.

Sidekanalisatsiooni kaevude ja kaablite uurimiseks kutsuti kohale võrkude omaniku Telia Eesti AS esindaja. Kuna sidekaevude avamine nõuab spetsiaalvõtmeid ja kaevud võivad olla elektroonilise valve all, on nende avamine ilma loata keelatud. Kaablite asukoha ja sügavuse tuvastamiseks oli vajalik juurdepääs kaablitele. Kaablite asukoha määramiseks kasutati kaabliotsijat, generaatorit ja signaalitange. Kaevude uuringu käigus mõõdeti kõikides suundades väljuvate torude kõrgused ja

kaevukeha mõõtmel. 33 kHz indutseeritud signaali lokaliseerimise tulemuse asukoht ja sügavus märgistati maapinnal ning hiljem mõõdistati märgitud punktid tahhümeetriliselt. Määratud sügavus sisestati mõõdistatud punkti koodi, mida hiljem kasutati torude ja torude paketi 3D telgjoone loomisel.



Pilt 27. Sidekanalisatsiooni kaevu uurimine Vesivärava tn-l

#### 5.5.8 Kanalisatsioonikaevude uurimine ja mõõdistamine

Kanaliseerimise uurimise tingis asjaolu, et georadari uuringus tuvastati teostusjooniselt ja koondplaanilt puuduv kanalisatsioonikaev koos torudega. Lisaks puudevale kanalisatsioonikaevule uuriti ka teisi uuringualasse jäävaid kanalisatsioonikaevusid. Uurimise käigus mõõdeti iga kaevu

- kaane kõrgus ja materjal
- läbimõõt ja materjal
- põhjakõrgus
- torude voolupõhja kõrgused
- torude sisemised läbimõõdud

Kaevude uurimisel tuvastati teostusjoonisega võrreldes erinevusi torude läbimõõtetes. Torude voolupõhja kõrgusandmetes vastuolusid ei tuvastatud.



Pilt 28. Kanalisatsioonikaevude uurimine Vesivärava tn-l

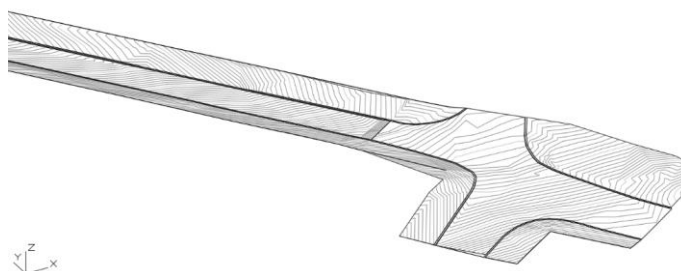
### 5.5.9 Kaevu kaante koorinaadid

Täiendava kontrolli teostamise eesmärgil võeti kõikide testimise piirkonnas nähtavate kaevukaante keskkoha koordinaadid TS seadmega.

### 5.5.10 Maapinnamudeli mõõdistamine ja loomine

ViaGeo teostusjoonisega nr VGT091 „Vesivärava tänava katendite teostusmõõdistamine“ loodud mudeli võrdlemisel tegeliku olukorraga selgus, et jooniselt puudus hulk mikroreljeefi iseloomustavaid punkte. See omakorda ei võimaldanud georadariga mõõdistatud profiilide piisavalt täpset kõrguslikku sidumist. Selleks, et viia kõik georadari andmed võimalikult täpsele ja ühtsele mudelile, otsustati maapinnamudel uuesti mõõdistada. Mõõdistati kõik murdjoonte ja reljeefi iseloomulikud punktid, mida uuringu piirkonnas tuli kokku ca 600.

Mõõdistatud punktidest joonestati reljeefi murdejooned (äärekivid, asfaldiääred). Kõikidesse mõõdistatud punktidesse genereeriti joonestusprogrammis 3D punktid. Kasutades 3D punkte ja 3D murdejooni loodi kolmnurkmudel. Murdejoonte kasutamine võimaldas luua kolmnurkmudeli kindlalt piiritletud pindadele. Näiteks tee pind äärekivide vahel. Kõik georadari uuringute andmed arvutati ühtse maapinnamudeli suhtes ümber. Nii saadi tuvastatud objektidele võimalikult täpne absoluutkõrgus riiklikus EH2000 kõrgussüsteemis.



Joonis 20: Mõõdistatud punktidest loodud maapinnamudel Vesivärava tn, Faehlmanni tn ja Wiedemanni tn ristmik

## 5.6 Uuringu toorandmete töötlemine ja tarkvara test

Uuringu käigus Vesivärava tn-l koguti kõikide uuringus osalenud georadaritega suur kogus toorandmeid, mida tuli töödelda, et saadud tulemus oleks kasutatav GIS, CAD, vms tarkvarades.

Georadari andmete töötlemise eesmärgiks on kogutud toorandmetest tuvastada, positsioneerida ja visualiseerida uuringu sihtmärgiks olevad maa-alused kommunikatsioonid.

Andmehõive käigus saadakse georadariga toorandmed, millest spetsiaaltarkvaraga töötlemise käigus tuvastatakse uuringu eesmärgiks olevad objektid. Kuna andmehõivet võib teostada erinevate meetodikate alusel ning erinevate seadmetega, siis on ka andmetöötlus erinevates projektides erinev.

Üldiselt saab jagada georadari andmetöötluse neljaks etapiks: andmete ettevalmistamine ja parandus; signaalitöötlus ja visualiseerimine; objektide tuvastamine ja joonistamine; tulemuste eksport.

Selleks, et saada ülevaade erinevatest georadari järeltöötlustarkvaradest ning nende võimalustest, viidi läbi tarkvarade testimine. GPR tarkvarade testimisele valiti seitse erinevat toodet:





Need annavad tervikliku ülevaate, mida GPR tarkvarad tänapäeval võimaldavad, kuna tegemist on valdkonna juhtivate tootjate tarkvaradega. Enamus maailmas kasutusel olevatest tarkvaradest suudavad töödelda ainult ühe kanaliga GPR andmeid. Mitmekanalilise antennimassiiviga GPR andmetöötlust suudavad teostada vaid üksikud tarkvarad.

Tarkvarade võrdlustabel on toodud käesoleva peatüki lõpus. Neist nelja ettevõtte: MALA, ImpulseRadar, IDS ja 3D-Radar georadarid osalesid Tallinnas Vesivärava tn-l toimunud GPR riistvara testis.

### 5.6.1 Object Mapper

Object Mapper on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mille omanik on Rootsi ettevõtte Guideline Geo AB (MALA).

Tarkvara on Windows'i põhine ning sisaldab tööks peamisi vajalikke funktsioone. Tarkvara uusim versioon 2.0 toodi turule 2018. aastal.

Object Mapper on lihtne ja efektiivne lahendus MALA georadarite toorandmete töötlemiseks ja töödeldud andmete interpreteerimiseks. Seda saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud MALA poolt toodetud ühe skaneerimisliini *MALÅ Easy Locator* sarja georadaritega Pro, GX, CX, XV või WR. Tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, kas andmehõive on teostatud täpset RTK GNSS-i kasutades või ilma, kasutades baasjoone metoodikat.

Andmete ettevalmistamine Object Mapperi andmetöötlustarkvaras sõltub sellest, mis tüüpi georadariga ja kuidas on teostatud andmehõive. Vastavalt georadari seadistusele andmehõive käigus võivad kõik kogutud profiilid olla eraldi failides või on juba andmehõive ajal loodud OBM projekt, mida saab tarkvaraga otse avada. Kõik vajalikud alamkataloogid ja formaadid loob tarkvara automaatselt ning kasutajal ei ole vajalik ega võimalik neid ise seadistada.

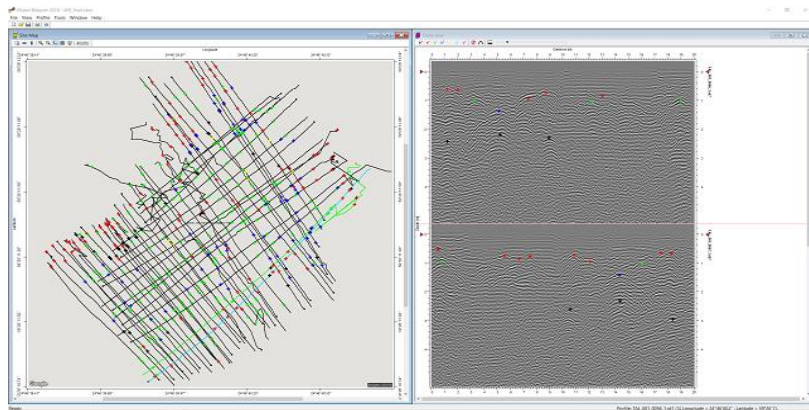
Andmehõives baasjoone metoodikat kasutades on andmetöötluseks andmete ettevalmistamise käigus võimalik seadistada täpseid mõõdistusparameetreid. Kui andmehõive käigus on loodud juba OBM projekt, siis positsioneerimise parameetreid ei ole võimalik enam andmetöötluse käigus muuta ega parandada.

Signaalitöötlus toimub Object Mapperi andmetöötlustarkvaras lihtsalt läbi filtrite menüü.

Saab valida erinevate filtrite vahel ja seadistada filtrite parameetreid vastavalt toorandmetele, uuringu eesmärgile või interpreteerija eelistustele.

Andmete interpreteerimine toimub B-skaneeringu alusel. Igal profiilil märgitakse tuvastatud sihtmärgi hüperbool eelnevalt seadistatud tähisega. Kõikidest sama sihtmärgi märkidest moodustub punktide rida, millest igaühel on olemas x, y ja z koordinaat. Kõikide tuvastatud ja märgitud sihtmärkide punktid koos koordinaatidega saab eksportida DXF, ASCII või GPS Mapper formaatidesse. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda.

Tulemuste esitlemiseks võimaldab Object Mapper ekraanipiltte salvestada ja välja printida.



Pilt 29. OBM interpreteerimise vaade

Object Mapper on lihtne ja väheste funktsioonidega tarkvara, mis võimaldab lihtsamatel objektidel maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamist ja interpreteerimist. Keerulisemates situatsioonides, kus on vaja tuvastada samas piirkonnas palju erinevaid maa-aluseid kommunikatsioone, on Object Mapperiga töö komplitseeritum, kuna ei võimalda horisontaalset vaadet ega erinevaid lõikeid sihtmärkide täpsemaks tuvastamiseks. Samuti ei võimalda tarkvara suumida B-skaneeringu vaates. Tarkvara ei vaja palju arvutiressurssi, töötab kiiresti ning lihtsamatel objektidel on tulemus hea.

### 5.6.2 rSlicer

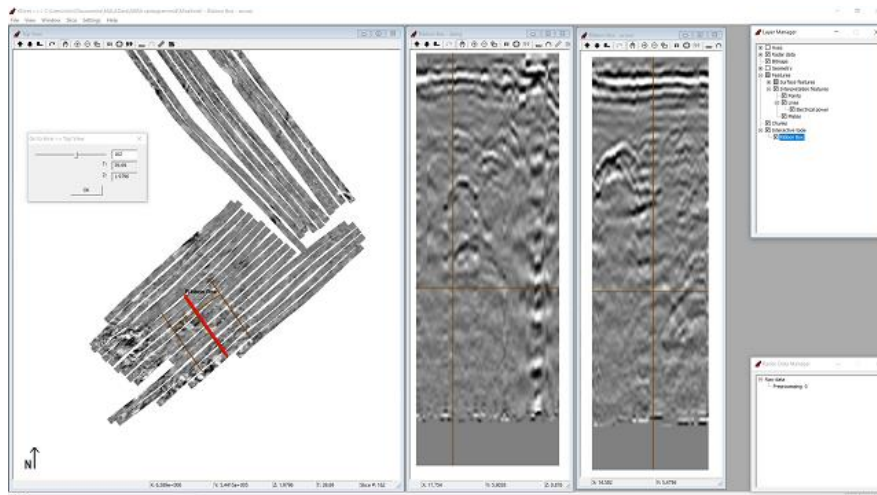
rSlicer on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mis on loodud 2007. aastal Rootsi ettevõtte Guideline Geo AB (MALA) tellimusel Venemaa ettevõtte DECO Geophysical Co poolt.

rSlicer on efektiivne ja töökindel lahendus MALA antennimassiiviga georadarite toorandmete töötlemiseks ja töödeldud andmete interpreteerimiseks. Seda saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud MALA poolt toodetud mitme skaneerimisliini MALÅ 3D Imaging Radar Array (MIRA) sarja georadaritega. rSlicer tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, kas andmehõive on teostatud täpset RTK GNSS-i või mõõtejaama kasutades.

Tarkvara võimaldab muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid mõõdistuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

Signaalitöötlus toimub rSlicer andmetöötlustarkvaras kaheastmeliselt läbi Radar Data Manageri menüü.

rSlicer tarkvara võimaldab vaateid ja lõikeid tervele uuritavale objektile nii horisontaalselt kui vertikaalselt. Interaktiivsete tööriistade abil saab vaadelda uuringupiirkonda ülevalt alla erinevatel kõrgustel ning teha lõikeid x, y ja z suunas. Vertikaalselt on võimalik teha ka ebasümmeetrilisi lõikeid näiteks piki uuritavat sihtmärki, et tuvastada tema sügavus igas punktis.



Pilt 30. rSlicer horisontaal- ja vertikaallõiked

Sihtmärgi täpse asukoha märkimiseks saab kasutada vertikaalseid lõikeid ja märkida sihtmärgi täpne asukoht hüperbooli või joone järgi.

Sihtmärgi asukoha tuvastamiseks saab kasutada ka horisontaalseid lõikeid, kus signaali on töödeldud nii Migration kui Hilbert funktsioonidega, mis annavad hea visuaalse ülevaate sihtmärgist.

rSlicer andmetöötlustarkvara võimaldab tuvastada ja interpreteerida nii punktobjekte, joonobjekte kui ka plaatobjekte.

Kõik tuvastatud, märgitud ja joonistatud sihtmärgid koos koordinaatidega saab eksportida DXF formaati. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda. Tulemuste esitlemiseks võimaldab rSlicer teha GeoTIFF pilte ja .avi videot. Samuti on võimalik ekraanipilte salvestada ja välja printida.

rSlicer on lihtne ja piisavate funktsioonidega tarkvara, mis võimaldab mitme skaneerimisliini antennimassiiviga georadariga kogutud toorandmeid töödelda, et tuvastada ja interpreteerida ma-aluseid kommunikatsioone ka keerulisemates situatsioonides.

Tarkvara lubab luua samast uuringupiirkonnast erineva signaalitöötlusega versioone, mis on abiks keerulisemate sihtmärkide tuvastamiseks. rSlicer võimaldab teha uuringupiirkonnast ka erisuunalisi lõikeid, mis teeb sihtmärkide interpreteerimise täpsemaks ja efektiivsemaks.

Tarkvara ei vaja palju arvutiressurssi, töötab kiiresti ning kogunud kasutaja käes on tulemus kvaliteetne.

### 5.6.3 Examiner

Examiner on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mille omanik on Norra ettevõtte 3D-Radar AS.

Examiner andmetöötlustarkvara on spetsiaalselt välja arendatud DX & DXG antennimassiiviga GeoScope™ MkIV muutuvagedusega georadari andmete töötlemiseks. GeoScope salvestab andmed andmehõive käigus sageduspõhise määranguna ning need koosnevad andmete komplektist, mis iseloomustavad tagasipeegelduva laine amplituudi ja faasi. GeoScopega kogutud andmete visualiseerimiseks teisendab Examiner tarkvara esmalt andmed ajapõhisesse määrangusse ning teeb andmete komplektist tavanumbrid.

Examiner on efektiivne ja töökindel lahendus GeoScope toorandmete töötlemiseks ja töödeldud andmete interpreteerimiseks. Examiner tarkvara võimaldab andmeid töödelda olenemata sellest, kas andmehõive on teostatud täpset RTK GNSS-i või mõõtejaama kasutades.

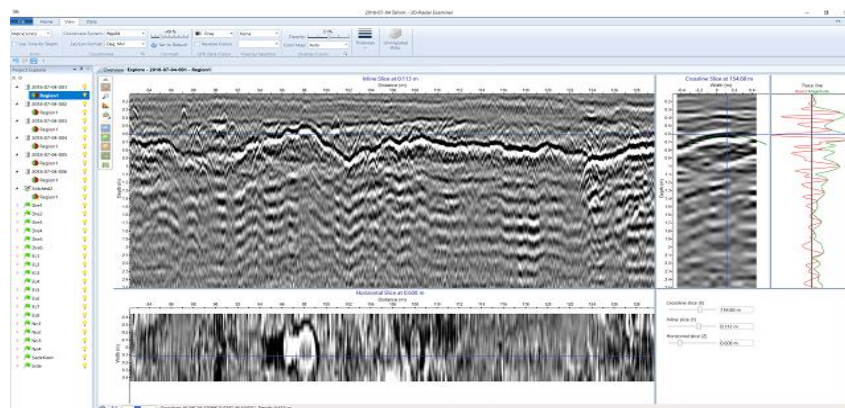
Selleks, et oleks võimalik töödelda andmeid suurte piirkondade kohta, on Examiner andmetöötlustarkvaras optimeeritud ressursi kasutust. Selleks on jagatud andmetöötlus kaheks etapiks: signaalitöötlus, mis salvestatakse arvutisse ning kõik edasised tegevused, mille jaoks muudetakse pilti ainult ekraanil.

Projekti alustamisel loob tarkvara kõik vajalikud alamkataloogid ja formaadid automaatselt ning kasutajal ei ole vajalik ega võimalik neid ise seadistada.

Kui andmehõive käigus on kogutud positsioneerimise andmed GNSS-ga ja salvestatud need koos georadari andmetega, siis projekti alustamisel seotakse need automaatselt omavahel. Kui positsioneerimist on teostatud mõõtejaamaga (TS) ning selle andmed on salvestatud georadari andmetest eraldi, tuleb need andmete ettevalmistamise käigus tarkvaras manuaalselt kokku viia.

Olenemata positsioneerimise liigist, võimaldab tarkvara muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid mõõdistuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

Examiner tarkvara kuvab ekraanil erinevaid vaateid ja lõikeid tervele uuritavale objektile nii horisontaalselt kui vertikaalselt. Vertikaalselt kuvatakse lõikeid nii joonobjekti sihtmärgi piki- kui ristisuunas. Horisontaalselt saab lõikeid teha vastavalt etteseadistatud määrangutele. Samuti on võimalik kõikides vaadetes lihtsalt suumida.



Pilt 31. Examiner interpreteerimine A ja B skaneeringud

Andmete interpreteerimiseks saab kasutada kombineeritud meetodeid ning kasutada selleks erinevaid lõikeid.

Examiner andmetöötlustarkvara võimaldab tuvastada ja interpreteerida nii punktobjekte kui joonobjekte. Lisaks saab tuvastada erinevaid pinnasekihte, mille automaattuvastamiseks on tarkvaras vastav algoritm.

Kõik tuvastatud, märgitud ja joonistatud sihtmärgid koos koordinaatidega saab eksportida DXF või DWG formaati. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda.

Tulemuste esitlemiseks võimaldab Examiner eksportida kõiki andmeid Google Earthi sobilikku formaati KMZ, teha videot ning samuti saab ekraanipilte salvestada ja välja printida.

Examiner on tõhus, lihtne ja piisavate funktsioonidega tarkvara, mis võimaldab mitme skaneerimisliini muutuvsaagedusega georadariga kogutud toorandmeid töödelda, et tuvastada ja interpreteerida maa-aluseid kommunikatsioone ka keerulisemates situatsioonides.

Tarkvara töötab kiiresti ja loogiliselt, ta ei vaja palju arvutiressurssi ning kogunud kasutaja käes on tulemus kvaliteetne.

#### 5.6.4 Gred-HD

GRED-HD on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mis on mõeldud spetsiaalselt maa-aluste kommunikatsioonide interpreteerimiseks ja 3D objektide loomiseks.

GRED-HD omanikuks on Itaalia ettevõtte IDS GeoRadar s.r.l.

Seda saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud IDS-i ühe skaneerimisliini georadariga Opera Duo, mitme skaneerimisliini georadariga RIS MF Hi-Mod ja antennimassiiviga sarja Stream (C, EM, X) georadaritega.

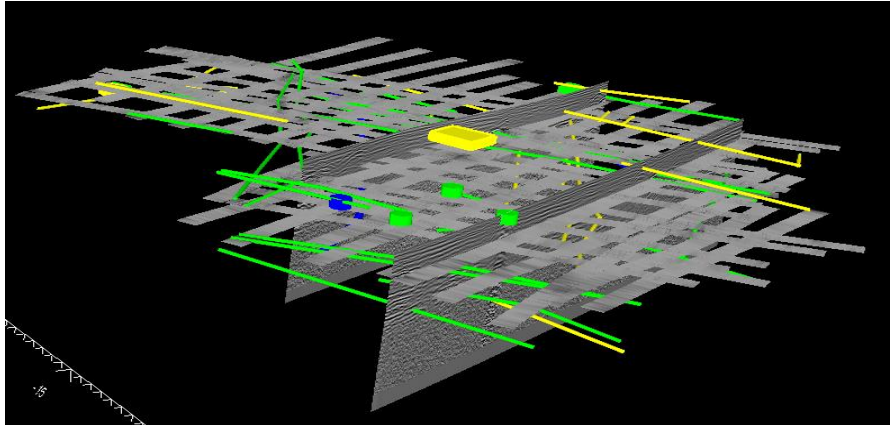
GRED-HD tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, millise positsioneerimise lahendusega on andmehõive teostatud. Olenemata positsioneerimise liigist, võimaldab tarkvara muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid möödistsuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

GRED-HD on võimas georadari andmetöötlustarkvara, millega saab lisaks tavafunktsioonidele luua ka kolmemõõtmelisi objekte.

Andmete ettevalmistamine GRED-HD andmetöötlustarkvaras sõltub sellest, mis tüüpi georadariga ja kuidas on andmehõive teostatud. Vastavalt andmehõive käigus georadari seadistusele võivad kõik kogutud profiilid olla eraldi failides või on juba andmehõive ajal loodud GRED-HD projekt, mida saab tarkvaraga otse avada. Kõik vajalikud alamkataloogid ja formaadid loob tarkvara automaatselt, kuid kasutajal on võimalik neid ise seadistada.

Andmete interpreteerimine toimub GRED-HD andmetöötlustarkvaras OpenGL moodulis. OpenGL moodul kuvab ekraanil erinevaid vaateid ja lõikeid tervele uuritavale objektile nii horisontaalselt, vertikaalselt kui ka ruumiliselt. Vertikaalselt kuvatakse lõikeid nii joonobjekti piki- kui ristisuunas. Horisontaalselt saab teha lõikeid vastavalt etteseadistatud määrangutele. Samuti on võimalik kõikides vaadetes suumida. Ruumiliselt on võimalik objekte liigutada ja keerata.

Kui andmehõive on teostatud suuremalt alalt, siis tuleb see andmete interpreteerimise etapiks jagada osadeks, muidu ei suuda tarkvara seda käsitleda. Andmete interpreteerimiseks saab kasutada kombineeritud meetodeid ja kasutada selleks erinevaid lõikeid. Tuvastatud sihtmärkidele saab omistada koheselt tüübi ning selle kaudu luuakse sihtmärgist visualiseerimiseks kolmemõõtmeline kujutis. Kõik tuvastatud ja joonistatud sihtmärgid koos koordinaatidega saab eksportida DXF või SHP formaadis ning CAD või GIS tarkvarades nendega edasi töötada.



Pilt 32. GRED-HD 3D vaade

GRED-HD on väga massiivne ja võimaluste rohke georadari andmetöötlustarkvara. Tarkvara vajab palju arvutiressurssi ja on seetõttu aeglane. Samuti on tarkvara tavakasutajale keeruline ning selle tulemuslik kasutamine nõuab pikaajalist kogemust.

#### 5.6.5 Radan

RADAN on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mille omanik on USA ettevõtte Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI).

Seda saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud GSSI poolt toodetud georadaritega UtilityScan, StructureScan, RoadScan, PaveScan, BridgeScan ja SIR® sarja radarid.

See on mõeldud kasutamiseks peamiselt ühe skaneerimisliini georadariga, mis on GSSI peamine toodang, aga saab hakkama ka andmetega, mis on kogutud mitme skaneerimisliini georadariga.

Andmete ettevalmistamine RADAN andmetöötlustarkvaras sõltub sellest, mis tüüpi georadariga ja kuidas on teostatud andmehõive ning kuidas soovitakse teostada andmete interpreteerimist. Vastavalt andmehõive käigus georadari seadistusele võivad kõik kogutud profiilid olla eraldi failides või on juba andmehõive ajal loodud RADAN projekt, mida saab tarkvaraga otse avada.

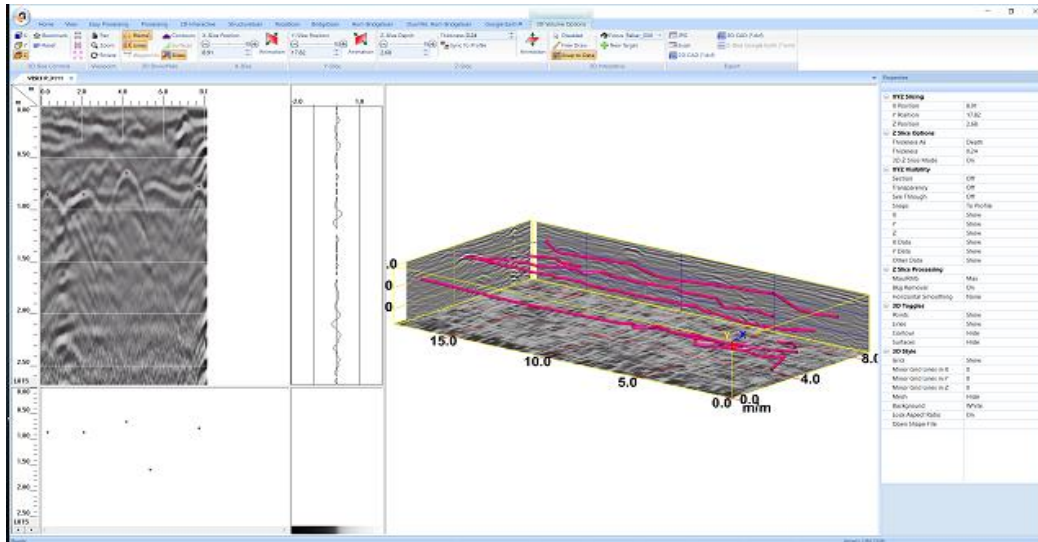
Andmehõives maatriks metoodikat kasutades on andmete töötlemiseks ettevalmistamise käigus võimalik seadistada täpseid mõõdistusparameetreid.

RADAN tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, millise positsioneerimise lahendusega on andmehõive teostatud. Olenemata positsioneerimise liigist, võimaldab tarkvara muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid mõõdistuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

Signaalitöötlus toimub RADAN Easy Processing või Processing menüü kaudu. Easy Processing võimaldab peamisi signaalitöötlemise etappe, mida on vaja enamik juhtudel. Processing menüü kaudu on võimalik teostada põhjalikumat signaalitöötlust.

Andmete interpreteerimine toimub 2D andmete ehk B-skaneeringu alusel. Igal profiilil märgitakse tuvastatud sihtmärgi hüperbool eelnevalt seadistatud tähisega. Kõikidest sama sihtmärgi märkidest moodustub punktide rida, millest igaühel on olemas x, y ja z koordinaat. Punktide rea saab ühendada joonega ning läbi selle joonobjektid luua. Kõiki märgitud punkte ja loodud objekte saab vaadata 3D vaates.





Pilt 33. Radan B ja A skaneeringud ning horisontaal- ja vertikaallõiked

Kõikide tuvastatud ja märgitud sihtmärkide punktid ja loodud joonobjektid saab koos koordinaatidega eksportida DXF formaati. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda.

RADAN on võimaluste rohke, kuid samas lihtsalt käsitlev georadari andmetötlustarkvara. See on kõige täislikum andmetötlustarkvara, mis võimaldab peamiselt ühe skaneerimisliini georadariga kogutud toorandmeid töödelda, et tuvastada ja interpreteerida maa-aluseid kommunikatsioone ka keerulisemates situatsioonides. RADAN ei vaja palju arvutiressurssi ja töötab kiiresti ning kogenud kasutaja käes on tulemus kvaliteetne.

#### 5.6.6 CrossPoint

Crosspoint on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetötlustarkvara, mille omanik on Rootsi ettevõtte ImpulseRadar AB. Crosspoint tarkvara on väga sarnane MALA andmetötlustarkvaraga Object Mapper, kuid natuke kasutajasõbralikum. Crosspoint on lihtne ja efektiivne lahendus ImpulseRadar georadarite toorandmete töötlemiseks ja töödeldud andmete interpreteerimiseks. Seda saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud ühe skaneerimisliini georadaritega CrossOver või PinPointR.

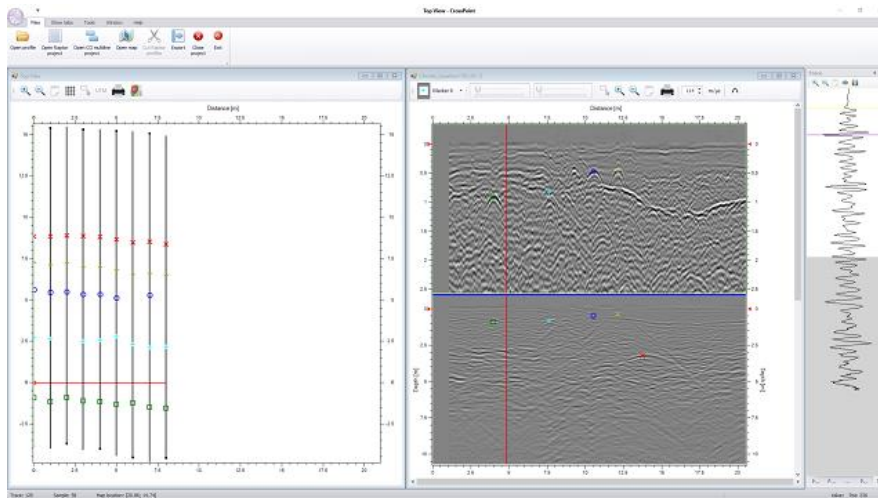
Crosspoint tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, millise positsioneerimise lahendusega on andmehõive teostatud. Olenemata positsioneerimise liigist, võimaldab tarkvara muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid mõõdistuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

Andmete ettevalmistamine andmetötlustarkvaras sõltub sellest, mis tüüpi georadariga ja kuidas on teostatud andmehõive. Vastavalt georadari seadistusele andmehõive käigus võivad kõik kogutud profiilid olla eraldi failides või on juba andmehõive ajal loodud Crosspoint projekt, mida saab tarkvaraga otse avada.

Andmehõives referentsjoone meetodikat kasutades on andmetötluseks andmete ettevalmistamise käigus võimalik seadistada täpseid mõõdistusparameetreid.

Signaalitötlus toimub Crosspointi andmetötlustarkvaras läbi filtrite menüü.

Andmete interpreteerimine toimub B-skaneeringu alusel. Igal profiilil märgitakse tuvastatud sihtmärgi hüperbool eelnevalt seadistatud tähisega. Kõikidest sama sihtmärgi märkidest moodustub punktide rida, millest igaühel on olemas x, y ja z koordinaat.



Pilt 34. CrossPoint interpreteerimine A ja B skaneeringu järgi

Kõikide tuvastatud ja märgitud sihtmärkide punktid koos koordinaatidega saab eksportida DXF, ASCII või KML formaatidesse. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda. Tulemuste esitlemiseks võimaldab Crosspoint ekraanipilt salvestada ja välja printida.

Crosspoint on lihtne ja väheste funktsioonidega tarkvara, mis võimaldab lihtsamatel objektidel maanaluste kommunikatsioonide tuvastamist ja interpreteerimist. Keerulisemates situatsioonides, kus on vaja tuvastada samas piirkonnas palju erinevaid maa-aluseid kommunikatsioone, on Crosspointiga töö komplitseeritum, kuna ei võimalda horisontaalset vaadet ega erinevaid lõikeid sihtmärkide täpsemaks tuvastamiseks. Tarkvara ei vaja palju arvutiressurssi, töötab kiiresti ning lihtsamatel objektidel on tulemus kvaliteetne.

### 5.6.7 GPR Slice

GPR Slice on litsentseeritud ja tasuline georadari andmetöötlustarkvara, mis on loodud geofüüsika doktori Dean Goodman'i poolt ja mille omanik on temale kuuluv USA ettevõtte Geophysical Archaeometry Laboratory. GPR tarkvaral on palju erinevaid moduleid ning sellega saab teostada nii georadari andmete töötlust kui andmete simulatsioone.

GPR Slice saab kasutada andmete töötlemiseks, mis on kogutud ühe skaneerimisliini georadariga või mitme skaneerimisliini georadariga (multichannel). GPR Slice sobib järgmiste firmade georadarite andmete töötlemiseks: ImpulseRadar, Geophysical Survey Systems Inc, Mala Geoscience, Sensors and Software, IDS, US Radar, Ditch Witch, ERA Technology, 3D Radar of Norway, UTSI Electronics, Geoscanners, Leica, Proceq, Zond Radar, Koden Radar, GeoTech, Transient Technologies, Loza, SEG Y ja SEG 2.

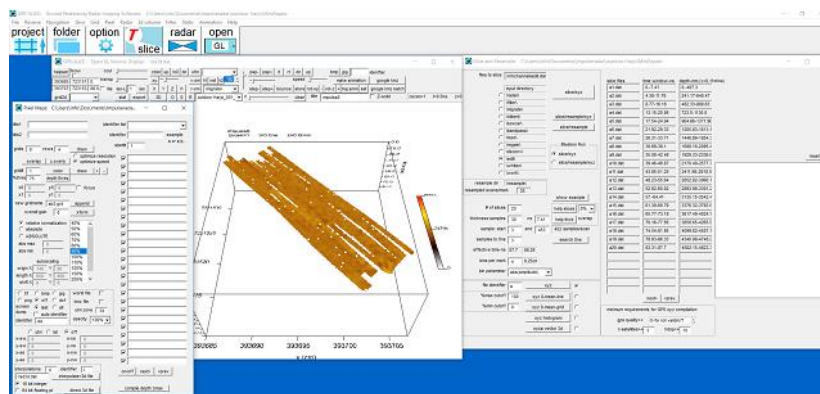
Andmete ettevalmistamine GPR Slice andmetöötlustarkvaras sõltub sellest, mis tüüpi georadariga ja kuidas on teostatud andmehõive. Kuna tarkvara toetab paljusid erinevaid seadmeid, on loodud protseduurid vastavalt seadmele. Andmete ettevalmistamise käigus konverteeritakse need GPR Slice formaati, et edasine töötlus oleks võimalik.



GPR Slice tarkvara võimaldab töödelda andmeid olenemata sellest, millise positsioneerimise lahendusega on andmehõive teostatud. Olenemata positsioneerimise liigist, võimaldab tarkvara muuta ja täpsustada positsioneerimise andmeid mõõdistuspunkti kaupa, kui andmehõive käigus on positsioneerimise andmetes tekkinud ebatäpsused või puudujäägid.

Signaalitöötlus toimub GPR Slice andmetöõtlustarkvaras läbi filtrite mooduli.

GPR Slice Multichannel andmetöõtlustarkvaras toimub andmete interpreteerimine OpenGL moodulis. OpenGL moodul kuvab ekraanil erinevaid vaateid ja lõikeid tervele uuritavale objektile nii horisontaalselt kui vertikaalselt. Vertikaalselt kuvatakse lõikeid nii joonobjekti piki- kui ristisuunas. Horisontaalselt saab teha lõikeid vastavalt etteseadistatud määrangutele. Samuti on võimalik kõikides vaadetes suumida. Andmete interpreteerimiseks saab kasutada kombineeritud meetodeid ja kasutada selleks erinevaid lõikeid. Tuvastatud sihtmärkidele saab omistada kohe tüübi ning selle kaudu luuakse sihtmärgist kolmemõõtmeline objekt.



Pilt 35. GPR Slice sihtmärkide tuvastamine

Kõik tuvastatud, märgitud ja joonistatud sihtmärgid koos koordinaatidega saab eksportida DXF või DWG formaati. Tulemusi saab CAD või GIS tarkvarades edasi töödelda. Tulemuste esitlemiseks võimaldab GPR Slice eksportida kõiki andmeid Google Earthi sobilikku formaati KMZ, teha videot ning samuti saab ekraanipilte salvestada ja välja printida.

GPR Slice on professionaalne georadari andmetöõtlustarkvara. See on kõige enamate võimalustega ning seda saab kasutada paljude georadaritega kogutud andmete töötlemiseks. Signaalitöötlust on võimalik teostada väga spetsiifiliselt võimaldades ka keerulisemates tingimustes kogutud andmetest tulemust saada. Maa-aluste kommunikatsioonide tuvastamiseks ja interpreteerimiseks ei lähe vaja suuremat osa GPR Slice võimalustest ning tarkvara on tavakasutaja jaoks küllaltki keeruline. GPR Slice tarkvara vajab piisavalt arvutiressurssi.

#### 5.6.8 Tarkvarade võrdlustabel

		Object Mapper	CrossPoint	Radan	rSlicer	Examiner	GRED-HD	GPR Slice
Type	Single manufacturer GPR	X	X	X	X	X	X	
	Multi manufacturer GPR							X
	Single GPR device				X	X		
	Multi GPR device	X	X	X			X	X

		Object Mapper	CrossPoint	Radan	rSlicer	Examiner	GRED-HD	GPR Slice
GPR Equipment	Single frequency				X			
	Multi frequency	X	X	X		X	X	X
	Single channel	X	X	X				
	Multi-channel				X	X		
	Single and multi-channel						X	X
	Time domain	X	X	X	X		X	X
	Frequency domain					X		X
Positioning & placing	Base line	X		X		X	X	X
	Referents line		X					X
	Grid			X			X	X
	GNSS, TS	X	X	X	X	X	X	X
	Position adjustment	X	X	X	X	X	X	X
	Horizontal Scaling			X				X
	Distance Normalization			X				X
	Surface Normalization			X			X	X
	Static Correction			X			X	X
	Time-zero adjustment	X	X	X	X	X	X	X
	Autoscale					X		
	Automatic ground alignment					X		
Signal Processing	DC Adjustment	X	X		X			
	Threshold	X	X					
	Muting				X			
	Amplitude correction				X			
	Interference Amplitudes					X		
	Antenna Ringdown Removal				X			
	IFFT					X		
	EDGE filter					X		
	FIR	X		X	X		X	X
	HFIR	X						
	ISDFT					X		
	Triangular FIR	X		X				
	Boxcar Filter		X	X				X
	Vertical High Pass Filter		X	X	X	X	X	X
	Vertical Low Pass Filter		X	X	X	X	X	X
	Background Removal	X	X	X	X	X	X	X
	Stacking Filter			X				
	Smoothing filter					X		
	Moving Average	X	X					
	Moving Median	X						
Interference suppression					X			

		Object Mapper	CrossPoint	Radan	rSlicer	Examiner	GRED-HD	GPR Slice
	Dewow						X	X
	Predictive deconvolution				X			X
	Deconvolution			X			X	
	Peaks Extraction			X				
	Rendering					X		
	AGC	X	X	X	X	X	X	X
	Time Gain	X	X					
	Range Gain					X		
	Custom Gain	X	X	X		X	X	X
	Linear gain			X			X	X
	Exponential gain			X				X
	Smoothed gain						X	
	Interpolation				X		X	X
	Migration	X	X	X	X	X	X	X
	Hilbert transform			X	X		X	X
Math/macros			X			X	X	
Data interpretation	A scan view		X	X		X	X	X
	B scan view	X	X	X	X	X	X	X
	C scan view			X	X	X	X	X
	3D view			X			X	X
	Target List	X	X	X	X	X	X	X
	Time slice			X	X	X	X	X
	X slice	X	X	X	X	X	X	X
	Y slice			X	X	X	X	X
	Zoom in slice	X		X	X	X	X	X
	Advanced zoom in slice		X	X	X	X	X	X
	Point targets	X	X	X	X	X	X	X
	Line targets			X	X	X	X	X
	Plate targets				X		X	X
	3D targets						X	X
Target smoothing							X	
Export	Points	X	X	X	X	X	X	X
	Lines			X	X	X	X	X
	Plates			X			X	X
	DXF	X	X	X	X	X	X	X
	DWG					X		X
	SHP						X	
	ASCII	X	X					
	TXT			X		X		
	KML		X					
	KMZ					X		X

		Object Mapper	CrossPoint	Radan	rSlicer	Examiner	GRED-HD	GPR Slice
	GeoTIFF				X			
	GPS Mapper	X						
	AVI				X	X	X	X

## 5.7 Uuringu tulemused

Vesivärava uuringu piirkond oli jagatud kaheks:

1. Vesivärava tänava lõik Raua tn ja Faehlmanni tn vahel;
2. Vesivärava tänava ja Faehlmanni tn ristmik.

Võrreldi järgmiste GPR-de mõõdistustulemusi:

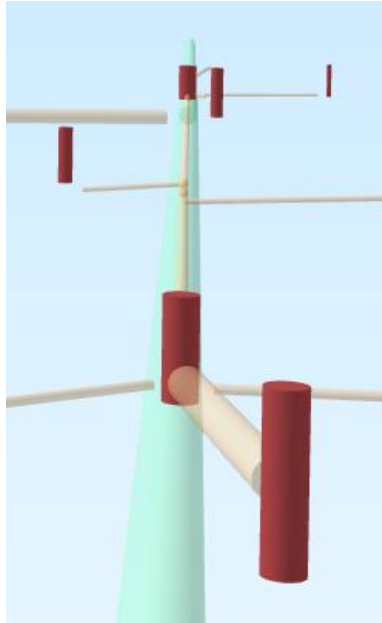
- 3D Radar (Vesivärava tn);
- IDS Stream (Vesivärava tn);
- Mira (Vesivärava tn ja ristmik);
- IDS Opera Duo (ristmik);
- Wide Range (ristmik).

Kuna ImpulseRadar georadareid testiti hiljem, peale teiste GPR-de andmete võrdlemist, siis ImpulsRadari tulemusi käesolev võrdlus ei sisalda.

Võrdluse juures hinnati:

- Milliseid objekte georadarid suutsid tuvastada;
- Millise plaanilise täpsusega objektide asukoht määrati;
- Millise täpsusega määrati objektide kõrgus.

Vesivärava tänava lõigus võrreldi tuvastatud sademevete süsteemi teostusmõõdistamise tulemustega nii plaaniliselt kui kõrguslikult. Teiste tehnovõrkude osas hinnati objektide tuvastatust ja maksimaalseid erinevusi.



Pilt 36. Vesivärava tn torustikud ja kaevud

Tehnovõrgud võivad jääda tuvastamata, kui skaneeritud alad ei ole omavahel ülekattes ja esineb alade vahelisi auke. Kui lõpptulemustes on trassid osaliselt puudu, ei pruugi see automaatselt tähendada, et GPR ei suutnud konkreetset trassilõiku tuvastada, vaid põhjuseks võib olla ka vahe skaneerimise alades.

#### 5.7.1 3D Radari tulemused

##### 5.7.1.1 Eksporditavad formaadid

3D radari tulemusi on võimalik ekspordida järgmistesse formaatidesse:

1. DWG- formaadis eksporditavad andmed on väga raskesti töödeldavad, kuna kõik elemendid on organiseeritud gruppidesse (BLOCK REFERENCE) viisil, et grupi kinnituspunkt asub koordinaatpunktis (0,0,0). Kuna sellisel kujul punktide tuletamine on tülikas ja ajamahukas, võtame andmete töötlemiseks aluseks eksporditud tekstifaili.
2. KMZ – Tulemuste esitamiseks Google Earth tarkvaras
3. Tekstifail

##### 5.7.1.2 Tulemuste töötlemine

Tulemuste töötlemiseks eksporditi andmed tekstifaili. Joonobjektid koondati gruppide kaupa ühte csv faili ja punktobjektid teise faili. Georadari tarkvarast saadi tulemused WGS 84 koordinaatsüsteemis ja profiilide kõrgused olid mõõdistatud EH2000 süsteemis. Selleks, et kontrollida kõrguste vastavust olemasoleva maapinnamudeli ja alusandmetega, mis on BK77 süsteemis, viidi saadud tulemused BK77 kõrgussüsteemi. Selleks määrati antud piirkonnas EH2000 ja BK77 kõrgussüsteemide vaheline parand. Parandi leidmiseks kasutati Maa-ameti üleminekumudeli kalkulaatorit <http://www.maaamet.ee/rr/ymudel/>. Parandi leidmiseks valiti objektile 3 referentspunkti. Kuna objekti pikkus oli suhteliselt väike (ca 240 meetrit), siis selle ulatuses parand ei muutunud. Kõrguse parand viidi sisse järgmise valemiga  $H(BK77) = H(EH2000) - 0,235$  m.

Georadari tarkvara väljastab markeeritud objektide sügavused maapinnast (näiteks profiili käänupunkti sügavus maapinnast tuvastatud objektini -1,310 meetrit.). Määratud objekti kõrguse

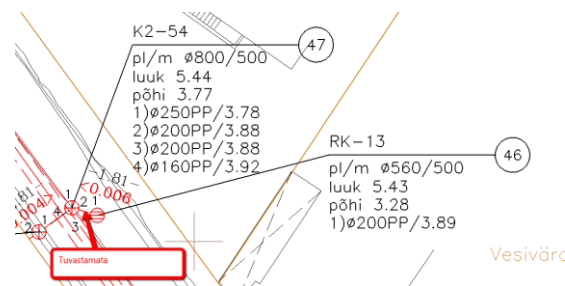
saamiseks peab teadma maapinna kõrgust vastavas punktis. Selleks loodi mõõdistatud profiili punktidest maapinnamudel. Objektide kõrgused arvutati maapinnakõrguse ja sügavuse vahena.

### 5.7.1.3 Andmete võrdlus 2D

3D radar suutis tuvastada enamuse teostusjoonistel ja koondplaaniil kajastatud tehnovõrkudest, milleks olid elekter, side (kasutusest kõrvaldatud), sademeveekanaliseatsioon.

3D radar ei suutnud tuvastada:

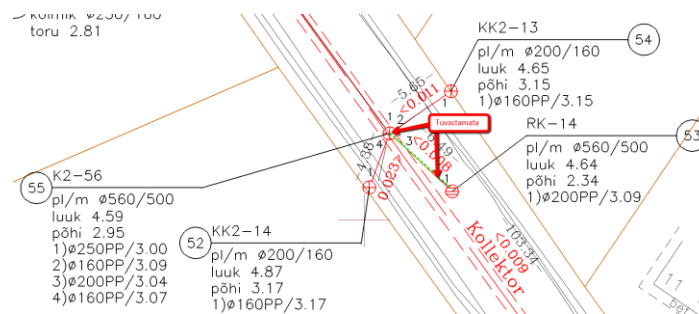
1. Sügavamal asuvat 1000PP sademeveekanaliseatsiooni trassi ka nendes kohtades kus 250 PP torustik ei asunud 1000 PP torustiku kohal. Kollektori (1000 PP) voolu põhja kõrgus oli ca 2,9 - 3,1 m maapinnast.
2. Kaevust RK-13 väljuv 200PP toru (voolupõhi ca 1,54 m maapinnast)



Pilt 37. Kaevust RK-13 väljuv 200PP toru

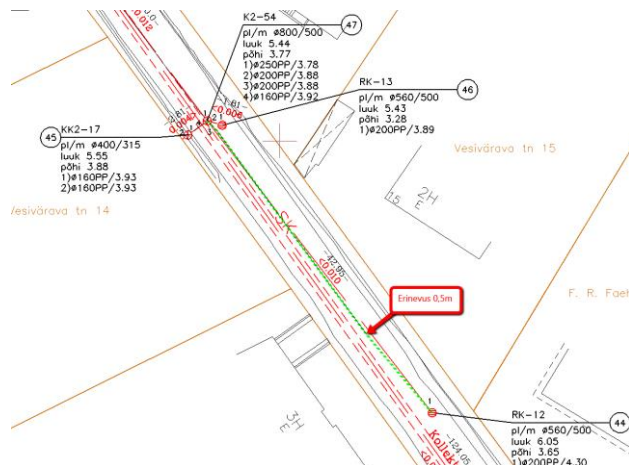
3D radar tuvastas osaliselt:

1. Kaevust RK14 väljuva 200 PP toru (voolupõhi ca 1,55 m maapinnast)



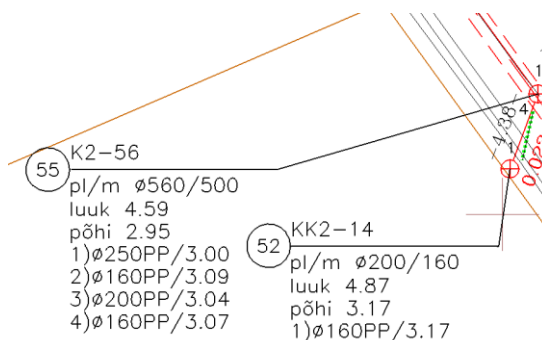
Pilt 38. Kaevust RK-14 väljuv 200PP toru

2. Kaevust RK12 väljuv 200 PP toru (voolupõhi ca 1,75 m maapinnast). Kuigi alguses RK12 kaevust väljuvat toru näha ei olnud, ilmub toru nähtavale ca 12 m kauguselt kaevust ja selle koha peal on näha, et trass ei kulge kaevude RK12 ja K2-54 vahel sirgjooneliselt nagu seda on näidatud teostusjoonisel maksimaalne vahe ca 0,5 m.



Pilt 39. Kaevust RK-12 väljuv 200PP toru

Kaevude K2-56 ja KK2-14 vahelises lõigus on plaaniline erinevus teostusjoonisega ca 0,46 m.



Pilt 40. Kaevude K2-56 ja KK2-14 vaheline lõik

## 5.7.2 IDS Stream Radari tulemused

### 5.7.2.1 Eksporditavad formaadid

IDS Stream tulemusi on võimalik ekspordida järgmistesse formaatidesse

1. DXF formaat - IDS-i tarkvaraga „GRED\_HD“ loodud jooned ja punktid saab ekspordida DXF formaati. Joonelemendid eksporditakse DXF formaati kahemõõtmelisena (2D) ja lisatakse atribuut „autocad\_elevation“

DXF eksport	Tegelikult määratud koordinaadid
0: 544008.3597, 6589166.9498	0: 544008.3597, 6589166.9498, -1.388404
1: 544015.1699, 6589157.3915	1: 544015.1699, 6589157.3915, -1.30007
2: 544023.9929, 6589144.754	2: 544023.9929000001, 6589144.754, -1.255932
3: 544033.865, 6589131.2737	3: 544033.865, 6589131.2737, -1.282438
4: 544046.5739, 6589114.205	4: 544046.5739, 6589114.205, -1.308944
5: 544049.1936, 6589110.4743	5: 544049.1936, 6589110.4743, -1.273622
6: 544056.9636, 6589099.4474	6: 544056.9636, 6589099.4474, -1.088196
7: 544064.3052, 6589089.0706	7: 544064.3052000001, 6589089.0706, -1.088196
<b>autocad_elevation : -1.088196</b>	

Selline eksport teisendab joone kõik käänupunktid viimase käänupunkti järgi sügavusele -1.088196, mis on vale. Antud rakenduse DXF eksporti ei tohi kasutada andmete 3D edasiseks töötlemiseks.

2. SHP formaat. Geomeetriad eksporditakse 3D joonte/punktidenä koos andmetöötõluse käigus lisatud atribuutandmetega.

	Color	Diameter	Name
1	00ff00	0.200 [m]	Other62
2	00ff00	0.200 [m]	Other62
3	ff0000	0.200 [m]	Electric7
4	0000ff	0.400 [m]	Water8

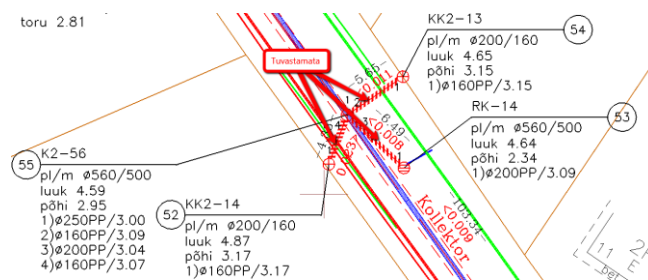
Ekspordi käigus on võimalik väljastada kas markeeritud joonte ja punktide sügavused maapinnast või kõrgused. Juhul kui eksportida sügavused maapinnast tuleb arvestada, et maapind on iga mõõdistuspunkti juures 0,00 m ning objektide reaalsed kalded ei vasta sellise ekspordi puhul tegelikkusele. Andmete edasiseks võrdlemiseks kasutati SHP formaadis eksporditud andmeid, mille kõrgused olid esitatud BK77 kõrgussüsteemis.

#### 5.7.2.2 Andmete võrdlus 2D

IDS Stream suutis tuvastada teostusjoonistel ja koondplaaniil kajastatud tehnovõrke, milleks olid elekter, side(kasutusest kõrvaldatud), sademeveekanaliseatsioon.

Stream EM Radar ei suutnud tuvastada:

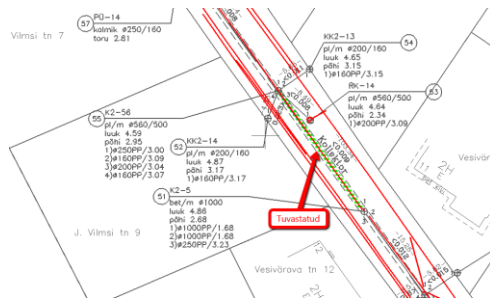
1. Sügavamal asuvat 1000 PP sademeveekanaliseatsiooni toru ka nendes kohtades kus 250 PP torustik ei asunud 1000PP torustiku kohal 1000 PP kollektori voolu põhja kõrgus oli ca 2,9 - 3,1 m maapinnast.
2. Enamust sademevee peatorustikuga ühendatud kogumistorustikest.



Pilt 41. Tuvastamata torud

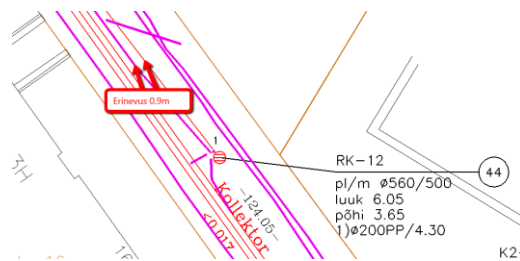
Kaevude K2-56 ja K2-5 vahel tuvastati trass sügavusel ca 1,2 m, mida teostusjoonisel ei ole (trassi kõrgus 3,53 ja 3,66 BK77 koordinaatsüsteemis). Antud lõigul paikneb kollektor sügavusel 2,2 m toru peale.





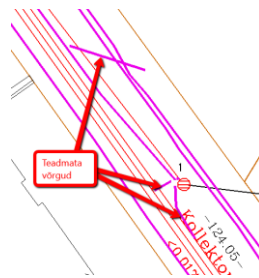
Pilt 42. Kaevude K2-56 ja K2-5 vahel tuvastati trass

Stream EM suutis tuvastada vastuolu teostusjoonise andmetes, kus RK12 kaevust väljuv toru ei kulge kaevude RK12 ja K2-54 vahel sirgjooneliselt nagu seda on näidatud teostusjoonisel, maksimaalne plaaniline erinevus teostusjoonisest ca 0,9 m.



Pilt 43. RK12 ja K2-54 vaheline trass

Paljudes kohtades tuvastati tundmatuid tehnovõrke:



Pilt 44. Tundmatud tehnovõrgud

Stream EM suutis tuvastada rajatisi, elektrikaableid kui ka mahajäetud sidekaabli. Eelpool nimetatud kaablite täpsust on raske hinnata, kuna puudub info andmete tegeliku asukoha ja päritolu kohta.

## 5.7.3 Mira radari tulemused

### 5.7.3.1 Eksporditvad formaadid

Mira radari tulemusi on võimalik ekspordida järgmistesse formaatidesse:

DXF formaat: Antud formaadis on eksporditud jooned ja punktelemendid sügavusega maapinna suhtes.

### 5.7.3.2 Tulemuste töötlemine

Kuna Mira Rslicer tarkvara väljastab objektide andmed sügavustega, seejärel tuli sügavuste alusel arvutada objektide kõrgused kõrgussüsteemis BK77. Sügavuste üleviimiseks genereeriti georadari profiilide positsioneerimise failidest maapinnamudel.

.pos faili struktuur

UNITS:m

1	544006.22	6589176.59	4.250
10	544006.62	6589176.02	4.260

Loodud maapinnamudelit võrreldi olemasoleva Tee teostusjoonisega (ViaGeo Vesivärava tänava katendite teostusjoonise nr VGT091). Teostusjoonise ja määratud profiilide vahel tuvastati erinevus - kõik profiilipunktid paiknesid 0,38 m kõrgemal kui Vesivärava tänava katendite teostusjoonisel. Antud süstemaatiline viga tuli välja ka olemasolevate ja Mira 3D andmete võrdluses. Viga tuli sisse vale prisma kõrguse kasutamisest.

- Mõõtejaama (TS) sisestatud prisma 1,5 m
- Õige prisma kõrgus 1,88 m

Tuvastatud joontele BK77 süsteemis kõrguste arvutamine

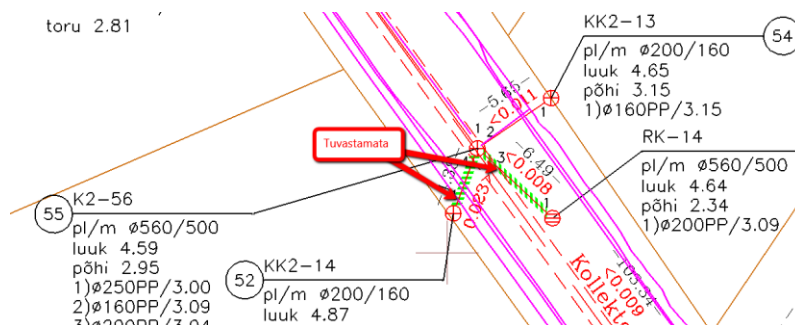
1. Profiilide andmetest genereeriti maapinnamudel (samakõrgusjoonte vahe 0,01 m)
2. Tuvastatud objektid laotati maapinna mudelile kasutades laotuse VERTEX meetodit (FME Desktop), mille puhul väljastati element sama tippude arvuga. Igale elemendi käänupunktile omistati kõrgus maapinnakõrguse ja sügavuse vahena.

### 5.7.3.3 Andmete võrdlus 2D

Mira radar suutis tuvastada enamuse teostusjoonistel ja koondplaani kajastatud tehnovõrkudest, milleks olid elekter, side(kasutusest kõrvaldatud), sademeveekanalisisatsioon. Suudeti tuvastada enamuse sademevee peatorustikuga ühendatud kogumistorustikest.

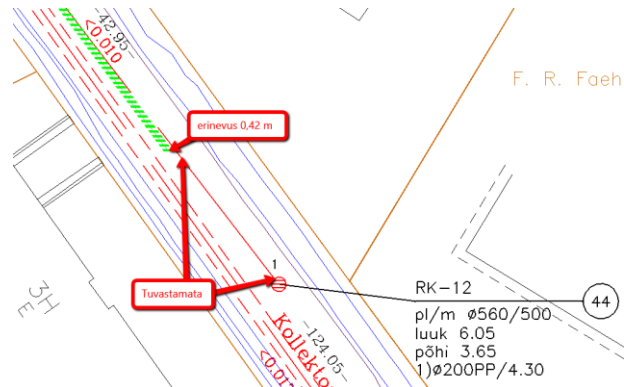
Mira Radar ei suutnud tuvastada:

1. Sügavamal asuvat 1000 PP sademeveekanalisisiooni toru ka nendes kohtades kus 250 PP torustik ei asunud 1000 PP torustiku kohal 1000 PP kollektori voolu põhja kõrgus oli ca 2,9 - 3,1 m maapinnast.
2. Mira ei suutnud tuvastada ühendustoru RK-14 ja K2-56 ja KK2-14 ja K2-56 kaevude vahel



Pilt 45. Tuvastada ühendustoru RK-14 ja K2-56 ja KK2-14 ja K2-56 kaevude vahel

3. Osaliselt kaevust RK12 väljuvat 200 PP toru (voolupõhi ca 1,75 m maapinnast). Kuigi alguses RK12 kaevust väljuvat toru näha ei olnud ilmub, toru nähtavale ca 11,5 m kauguselt kaevust ja selle koha peal on näha, et trass ei kulge kaevude RK12 ja K2-54 vahel sirgjooneliselt nagu seda on näidatud teostusjoonisel (maksimaalne vahe ca 0,42 m)



Pilt 46. Kaevust RK12 väljuv toru

#### 5.7.3.4 2D võrdlus 3D radar, Stream EM ja Mira

Trasside plaanilise asukoha võrdlemiseks valiti Vesivärava tn sademevee kanalisatsiooni torustikud. Torustikud on ehitatud 2017. aastal ja nende kohta on olemas korrektne teostusjoonis.

Erinevused XY tasandil				
Diameeter mm	Pikkus m	3D radar m	Stream EM m	Mira m
250	13,8	0,04	0,18	0,09
		0,01		0,05
250	66	0,00	0,11	0,03
		0,13	0,17	0,11
		0,05	0,09	0,03
		0,05	0,06	0,12
			0,15	0,20
			0,07	
250	14,2	0,08	0,17	0,11
		0,01	0,31	0,07
250	29	0,03	0,03	0,08
		0,11	0,20	0,13
				0,11
				0,11
				0,05
				0,10
				0,05
200	0,7		0,05	0,06
200	42	0,18	0,22	0,17
		0,37	0,86	0,04

Erinevused XY tasandil				
Diameeter mm	Pikkus m	3D radar m	Stream EM m	Mira m
		0,48	0,32	0,01
				0,26
				0,34
				0,42
				0,42
200	5,5	0,06		
		0,13		
200	0,5	0,78		0,06
		0,23		
160	5,4	0,13	0,09	0,01
		0,13	0,03	0,05
		0,01	0,17	
160	2,8	0,05	0,13	0,04
		0,06	0,03	0,12
160	5,6	0,00		0,15
		0,02		0,35
		0,04		
160	4,7	0,06		0,22
		0,03		0,06
160	3,4	0,08		
		0,45		
160	4,8	0,04		0,42
		0,05		
		0,09		
160	1,5	0,06		
		0,04		
160	1,8	0,04	0,30	0,02
		0,02		
		0,03		
Keskmine erinevus		0,11	0,18	0,13
Keskmine ruutviga		0,16	0,18	0,12

#### 5.7.4 3D võrdlus 3D radar, Stream EM ja Mira

Trasside kõrguste võrdlemiseks valiti Vesivärava tn sademevete kanalisatsiooni torustikud. Torustikud on ehitatud 2017. aastal ja nende kohta on olemas korrektne teostusjoonis. Teostusjoonisest saadud andmete põhjal arvutati kõrgused torude peale.

Diameeter	Pikkus	TJ	3D radar	TJ-GPR	TJ	Stream EM	TJ-GPR	TJ	Mira	TJ-GPR
250	13,8	2,47	2,56	-0,09	2,55	2,44	0,11	2,55	2,99	-0,44
		2,63	2,64	-0,01				2,63	3,05	-0,42
250	66,0	2,65	2,70	-0,05	2,69	2,56	0,13	2,65	3,03	-0,38
		2,86	3,00	-0,14	2,84	2,76	0,08	2,85	3,3	-0,45
		2,88	2,98	-0,10	3,01	2,90	0,11	2,89	3,35	-0,46
		3,24	3,42	-0,18	3,05	3,03	0,02	3,05	3,52	-0,47
					3,18	3,10	0,08	3,25	3,75	-0,5
					3,22	3,18	0,04			
250	14,2	3,49	3,60	-0,11	3,49	3,30	0,19	3,52	3,98	-0,46
		3,65	3,75	-0,10	3,64	3,52	0,12	4,59	4,1	0,49
250	29,0	3,67	3,80	-0,13	3,77	4,23	-0,46	3,67	4,2	-0,53
		4,02	4,20	-0,18	3,87	4,40	-0,53	3,74	4,16	-0,42
								3,82	4,24	-0,42
								3,86	4,28	-0,42
								3,92	4,35	-0,43
								3,96	4,39	-0,43
								4,02	4,52	-0,5
200	0,7		T*		4,09	4,04	0,05	4,08	4,54	-0,46
200	42,0	4,09	4,08	0,01	4,12	4,64	-0,52	4,09	4,48	-0,39
		4,32	4,40	-0,08	4,41	5,12	-0,71	4,15	4,57	-0,42
		4,39	4,49	-0,10	4,50	4,82	-0,32	4,18	4,6	-0,42
								4,26	4,72	-0,46
								4,31	4,8	-0,49
								4,35	4,85	-0,5
								4,39	4,96	-0,57
200	5,5	3,28	3,42	-0,14		T*			T*	
		3,29	3,41	-0,12						
200	0,5	2,65	2,66	-0,01		T*		2,69	2,91	-0,22
		2,71	2,64	0,07						
160	5,4	2,65	2,69	-0,04	2,61	3,05	-0,44	2,61	3,09	-0,48
		2,63	2,68	-0,05	2,61	2,67	-0,06	2,64	3,14	-0,5
		2,61	2,57	0,04	2,64	2,68	-0,04			
160	2,8	2,98	3,25	-0,27	3,05	3,03	0,02	2,97	3,52	-0,55
		3,09	3,34	-0,25	3,03	3,03	0,00	3,22	3,77	-0,55
160	5,6	3,00	3,21	-0,21		T*		3	3,52	-0,52
		3,11	3,22	-0,11				3,14	3,59	-0,45
		3,22	3,26	-0,04						
160	4,7	3,25	3,39	-0,14		T*		3,3	3,81	-0,51
		3,29	3,39	-0,10				3,25	3,75	-0,5
160	3,4	3,24	3,38	-0,14		T*			T*	
		3,32	3,65	-0,33						
160	4,8	3,68	3,67	0,01		T*		3,73	4,18	-0,45

Diameeter	Pikkus	TJ	3D radar	TJ-GPR	TJ	Stream EM	TJ-GPR	TJ	Mira	TJ-GPR
		3,70	3,71	-0,01						
		3,73	3,74	-0,01						
160	1,5	3,69	3,78	-0,09		T*			T*	
		3,67	3,72	-0,05						
160	1,8	4,09	4,27	-0,18	4,09	4,05		4,08	4,57	-0,49
		4,09	4,24	-0,15						
		4,08	4,21	-0,13						
Keskmine erinevus				-0,10**			-0,11			-0,43*
Keskmine erinevus peale süstemaatilise vea eemaldamist				-0,03			-0,11			-0,05
Keskmine ruutviga				0,09			0,28			0,17

\* – profileeritud kõrgused võrreldes tee teostusega 38 cm kõrgemal

\*\* – profileeritud kõrgused võrreldes tee teostusega ca 7 cm kõrgemal

T\* – tuvastamata

3D radar – Kõige väiksem keskmine ruutviga ja kõige vähem tuvastamata trasse (1)

Mira – Kõige rohkem mõõdistuspunkte, tuvastamata trasse (3)

IDS radar – Kõige rohkem tuvastamata objekte (7) ja kõige suurem keskmine ruutviga.

#### 5.7.5 Mira radari tulemused ristmikul

Lisaks Vesivärava tänavale skaneeriti MIRA georadariga ka Vesivärava tn ja Faehlmanni tn ristmik.

##### 5.7.5.1 Andmete võrdlus 2D

Mira suutis tuvastada järgmised tehnovõrgud: elekter, sademeveekanaliseerimine, gaas, vesi, side, kanalisatsioon.

Georadari andmete ja kanalisatsiooni võrdlemisel ilmnes vastuolu. Teostusjoonisel „EG-31\_17-VK VESIVÄRAVA.dwg“ puudub kanalisatsiooni kaev ja trassi kulgemine ei vasta tegelikkusele. Puuduv kaev on olemas Vesivärava tänav katendite teostusjoonisel „mkmVGT09117\_teeteostus.dgn“ ja tööde käigus teostatud kaevude kontrollmõõdistamisel „Kaevude kontrollmõõtmine130618.dwg“.

##### 5.7.5.2 Andmete võrdlus 3D

Teostusjoonistel olid toodud kõrgusandmed ainult gaasi torustiku ja sademeveekanaliseerimise kohta. Kuna Mira georadar sademeveekanaliseerimise ei tuvastanud, siis võrreldi gaasitrassi ja georadariga saadud kõrgusi. Võrdlustulemused on toodud järgnevas tabelis:

TJ	Mira	Mira-TJ
5,82	6,18	0,36
5,79	6,09	0,30
5,78	6,16	0,38
5,76	6,13	0,37
5,75	6,21	0,46
5,74	6,13	0,39

TJ	Mira	Mira-TJ
5,72	6,09	0,37
5,69	6,11	0,42
5,67	6,06	0,39
5,66	6,09	0,43
5,64	6,11	0,47
5,61	6,08	0,47
5,57	6,05	0,48
5,55	6,02	0,47
5,54	6	0,46
5,53	5,99	0,46
5,52	5,98	0,46
Keskmine erinevus*		0,41
Keskmine erinevus peale süstemaatilise vea eemaldamist		0,03
Keskmine ruutviga		0,054

\* – profileeritud kõrgused võrreldes tee teostusega 38 cm kõrgemal

## 5.7.6 WideRange radari tulemused ristmikul

### 5.7.6.1 Eksporditavad formaadid

WideRange seadmest saab mõõdistustulemused eksportida tekstifaili. Eksporditav tekstifail sisaldab järgmist informatsiooni:

Välja väärtus	Näide	Märkused
Profile	TAL_001_0043_2.rd7	Seadme skaneerimisliini fail nimi
Type	Üks	Vabalt sisestatav väli
Trace	176	Teekonna number
Sample	107	Näidu number
Longitude	24.777782	Ida pikkus (WGS84 koordinaatsüsteemis)
Latitude	59.436452	Põhja laius WGS84 koordinaatsüsteemis
Depth [m]	0.867	Tuvastatud objekti sügavus maapinnast
GPS altitude [m]	23.798	GPS kõrgus ellipsoidist

WideRange seadme puhul saab positsioneerimiseks kasutada ainult GNSS seadet. Väljundandmetest puuduvad täpsuse hindamiseks vajalikud parameetrid:

- horisontaalne täpsus;
- vertikaalne täpsus;
- keskmine ruutviga (RMS);
- PDOP;
- satelliitide arv.

Järeltöötuse käigus ei ole võimalik tuvastada ja välistada ebatäpseid mõõtmistulemusi.

#### 5.7.6.2 Tulemuste töötlemine

Parameetrite Longitude, Latitude ja Depth [m] alusel loodi 3D punktid. Koordinaatpunktid teisendati WGS84 koordinaatsüsteemist (EPSG:4626) LEST97 koordinaatsüsteemi (EPSG:3301).

#### 5.7.6.3 Andmete võrdlus 2D

Tuvastatud tehnovõrgud elekter, vesi, gaas, side. Object Mapper tarkvaraga ei suudetud interpreteerida sademeveekanaliseerimise ja kanaliseerimise torustikke.

#### 5.7.6.4 Andmete võrdlus 3D

Teostusjoonistel olid toodud kõrgusandmed ainult gaasi torustiku ja sademeveekanaliseerimise kohta. Kuna WideRange georadar sademeveekanaliseerimise ei tuvastanud, siis võrreldi gaasitrassi ja georadariga saadud kõrgusi. Võrdlustulemused on toodud järgnevas tabelis:

TJ (gaas)	WideRange	WideRange-TJ
5,70	5,90	0,20
5,68	5,86	0,18
5,68	5,93	0,25
5,66	5,83	0,17
5,65	5,87	0,22
5,63	5,80	0,17
5,62	5,80	0,18
5,60	5,86	0,26
5,59	5,67	0,08
5,58	5,88	0,30
5,56	5,78	0,22
5,54	5,93	0,39
5,53	5,91	0,38
Keskmine erinevus*		0,23
Keskmine erinevus peale süstemaatilise vea eemaldamist		-0,15
Keskmine ruutviga		0,08

\* – profileeritud kõrgused võrreldes tee teostusega 38 cm kõrgemal

#### 5.7.7 OperaDuo radari tulemused ristmikul

##### 5.7.7.1 Eksporditavad formaadid

IDS Opera Duo tulemusi saab ekspordida analoogselt IDS Stream radarile järgmistesse formaatidesse

1. DXF formaat - IDS-i tarkvaraga „GRED\_HD“ loodud jooned ja punktid saab ekspordida DXF formaati. Joonelemendid eksporditakse DXF formaati kahemõõtmelisena (2D) ja lisatakse atribuut „autocad\_elevation“



Selline eksport viib joone kõik käänupunktid viimase käänupunkti järgi ühele ja samale sügavusele - mis on vale. Antud rakenduse DXF eksporti ei tohi kasutada andmete 3D töötlemiseks.

2. SHP formaat. Eksporditakse geometriat 3D joonte/punktidenä ja ka andmetöötlemise käigus lisatud atribuutandmed.

	Color	Diameter	Name
1	00ff00	0.200 [m]	Other62
2	00ff00	0.200 [m]	Other62
3	ff0000	0.200 [m]	Electric7
4	0000ff	0.400 [m]	Water8

Ekspordi käigus on võimalik väljastada kas markeeritud joonte ja punktide sügavused maapinnast või kõrgused. Juhul kui eksportida sügavused maapinnast tuleb arvestada, et maapind on iga mõõdistuspunkti juures 0,00 m ning objektide reaalsed kalded ei vasta sellise ekspordi puhul tegelikkusele.

Andmete edasiseks võrdlemiseks kasutati SHP formaadis eksporditud andmeid, mille kõrgused olid esitatud BK77 kõrgussüsteemis.

#### 5.7.7.2 Andmete võrdlus 2D

Tuvastatud tehnovõrgud elekter, vesi, gaas, side, kanalisatsioon, sademeveekanaliseatsioon. Lisaks tuvastati suur hulk mahajäetud tehnovõrkude osi, mille kohta info puudub.

#### 5.7.7.3 Andmete võrdlus 3D

Teostusjoonistel olid toodud kõrgusandmed gaasi torustiku ja sademeveekanaliseatsiooni kohta. Võrdlustulemused on toodud järgnevatel tabelitel:

Gaas		
TJ	Opera Duo	Opera-TJ
5,67	5,57	-0,10
5,60	5,48	-0,12
5,56	5,55	-0,01
5,52	5,74	0,22
5,56	5,35	-0,21
Keskmine erinevus		-0,04
Keskmine ruutviga		0,16

Sademeveekanaliseatsioon		
TJ	Opera Duo	Opera-TJ
4,83	4,87	0,04
4,78	4,81	0,03
4,73	4,74	0,01
Keskmine erinevus		0,03

#### 5.7.8 Vea hinnang

1. GPR mõõdistuse viga 5-10% – sügavuse määramisel
2. Teostusjoonise kõrguse mõõdistamise viga  $\pm 3$  cm maapinna mõõdistamisel
3. Teostusjoonise toru kõrguse mõõdistamise viga  $\pm 3$  cm
4. Viga kõrguse arvutamisel toru peale  $\pm 3$  cm

	Sügavuse väärtus (m)	Viga (5%)	Viga (10%)
GPR mõõdistuse viga	1,445	±0,072	±0,145
Maapinna kõrguse viga		±0,03	±0,03
<b>Toru kõrguse (toru peale) leidmise viga kokku</b>		<b>±0,10</b>	<b>±0,18</b>
Toru kõrguse vahemik maapinna kõrguse 5,04 korral		3,49-3,70	3,42-3,78
Sademeveekanalisatsiooni teostusjoonisel oleva toru voolu põhja kõrgus	3,42	±0,03	
Sademeveekanalisatsiooni teostusjoonisel oleva toru kõrgus toru peale (viga kokku)	3,67	±0,06	
Toru kõrguse vahemik p.A		3,61-3,73	

### 5.7.9 Kasutatud võrdlusmaterjal

Andmete võrdlemiseks kasutati järgmisi materjale:

Joonis	Mõõdistuse aeg	Töö nimetus	Töö number	Andmete dimensioon
EG-31_17-1-SK VESIVÄRAVA.dwg	September 2017	Sademevee torustike teostusmõõdistus		2D
EG-31_17-VK VESIVÄRAVA.dwg	September 2017	Vee- ja kanalisatsioonitorustike teostusmõõdistus		2D
Vesivarava tn gaasutrass A kat.dwg	Oktoober 2017	A-kat. Gaasitrassi teostusjoonis		2D
Vesivarava_128a.dgn		Väljavõtte TLPA koondplaanist		2D
mkmVGT09117_teeteostus.dgn	2017	Vesivärava tänava katendite teostusjoonis	VGT091	3D
teos2119_side.dgn	1998	Sidetrasside teostusjoonis	VGT119	2D
Kaevude kontrollmõõtmine130618.dwg	2018	Kaevukaante kontrollmõõdistamine		3D

Kõik kasutatud materjalid on Eesti riiklikus koordinaatsüsteemis LEST97 ja nendes sisalduvad kõrgusandmed on BK77 kõrgussüsteemis.

#### 5.7.9.1 Olemasolevatest failidest saadud andmed

Olemasolevate andmete alusel saadi järgmised andmed

Trassid	Objektid	Kõrguse olemasolu	Tehnilised andmed	Sügavusvahemik (toru peale m)
Sademevesi	Torud Kaevud	+ +	+ +	1,3 – 2,1
Gaas	Torud Kaevud	+ Pole piirkonnas	+ -	0,9 – 1,2
Kanalisatsioon	Torud Kaevud	Osaline Osaline	+ +	1,5 – 1,7

Trassid	Objektid	Kõrguse olemasolu	Tehnilised andmed	Sügavusvahemik (toru peale m)
Vesi	Torud Kaevud	Osaline -	+ -	1,6 – 1,7
Telekommunikatsioon	Torud Kaevud	Osaline -	+ +	0,6 – 0,8
Elekter	Kaablid	-	-	

#### 5.7.9.2 Olemasolevate andmete ettevalmistus võrdluseks

Andmete kõrguslikuks hindamiseks tuli olemasolevatelt 2D joonistelt viia vajalikud objektid 3D kujule. 3D objektide loomisel tuleb arvestada, et vastavalt kehtivatele MKM nõuetele on erinevat tüüpi torustike kõrgusinfo esitatud erinevalt:

1. Isevoolsetel torustikel - voolupõhja kõrgus
2. Survetorustikel - kõrgus toru peale
3. Sooajatorustikel - toru telje kõrgus

3D objektide loomiseks sai kasutada teostusjoonistel olevaid kaevude või profiilide andmeid. 3D objektide loomisel tuleb torustiku kõrguse arvutamisel arvutada toru telg, mille alusel saab hiljem diameetrit arvestades luua õigete mõõtmega 3D toru. Kuna GPR-i objektide kõrgused saadakse objekti peale, siis arvutati võrdluseks ka olemasolevate torustike kõrgused toru peale.

#### 5.7.9.3 3D maapinna mudel loomine

Maapinnamudelit on vaja selleks, et arvutada GPR seadmete poolt määratud objektide sügavuste alusel objekti kõrgus BK77 süsteemis. Maapinna mudelit on võimalik luua erinevate GPR mõõtmiste tulemustest. Selline meetod toob sisse positsioneerimise kõrguse vea. Maapinna mudelite kõrgusi võrreldi ViaGeo Vesivärava tänava katendite teostusjoonisega nr VGT091. Maapinnamudeli madalaim punkt on 3,78 m kõrgeim punkt 6,76 m. 3D radariga mõõdistatud maapinnapunktide kõrguste erinevus teostusjoonise kõrgustest oli keskmiselt +6 - +8 cm. Mira radariga mõõdistatud maapinnapunktide kõrguste erinevus teostusjoonise kõrgustest oli keskmiselt +38 cm, mis oli tingitud vale prisma kõrguse kasutamisest Georadariga mõõdistamisel. Kõrguslikku täpsuse tõstmiseks on vaja eraldi mõõdistada uurimispiirkonna kõrgused ja luua maapinnamudel, mis arvestaks murdejooni. Mudeli loomiseks ja andmete võrdlemiseks kasutati tarkvara FME Desktop.

#### 5.7.9.4 Andmete võrdlemisel kasutatud tarkvara

##### FME

FME on litsentseeritud ja tasuline andmete integreerimise tarkvara platvorm, mis töötab Windows, Linux ja macOS operatsioonisüsteemidel. Tarkvara on välja töötatud Kanadas ja kuulub ettevõttele Safe Software Inc. Tarkvara on väga aktiivses arenduses ja sobib ideaalselt eriformaadiliste ruumiandmete töötlemiseks, andmehaldusega seotud ülesannete lahendamiseks ja protsesside automatiseerimiseks. FME platvorm koosneb kahest tootest: FME Desktop - andmetöötluse protsesside loomiseks ja FME Server - andmetöötlusprotsesside automatiseerimiseks. FME toetab üle 400 erineva formaadi. Formaadid saab jagada järgmistesse kategooriatesse - 3D, Big Data, BIM, Business, CAD, Data Warehouse, Database, GIS & Mapping, Imagery & Raster, LiDAR & Point Clouds, NoSQL, Web. Täpsema info kirjelduse formaatide kohta leiab tootja kodulehelt <https://www.safe.com/integrate/>. FME sisaldab üle 400 erineva protseduuri, mida saab jagada

järgmistesse kategooriatesse: 3D, Attributes, Calculated values, Cartography and reports, Coordinates, Data Quality, Filters and Joins, Format Specific, Geometries, Integrations, Point Clouds, Rasters, Spatial Analysis, Strings, Web, Workflows. Täpsema info kirjelduse protseduuride kohta leiab tootja kodulehelt <https://www.safe.com/transformers/#/>

## Microstation Powerdraft

Microstation PowerDraft on litsentseeritud ja tasuline CAD tarkvara platvorm, mis töötab Windows operatsioonisüsteemil. Microstation PowerDraft võimaldab nii 2D kui ka 3D objektide joonistamist ja muutmist, mõõtmist ja analüüsimist. PowerDraft võimaldab erinevas formaadis esitatud andmete koos kasutamist. Antud töös kasutati PowerDrafti 2D joonistest 3D objektide saamiseks, erinevates failides esitatud situatsioonide võrdlemiseks ja objektide vaheliste kauguste mõõtmisteks.

### 5.7.10 3D mudelite loomine

#### 5.7.10.1 Kasutatud tarkvara

- PostgreSQL/ PostGIS
- FME Desktop 2018.1.0.3
- MicroStation PowerDraft V8i (Select Series 3)
- MicroStation PowerDraft Connect Edition
- MicroStation V8i
- Autocad Civil 3D
- QGIS 3.4.1/ Qgis2threejs

#### 5.7.10.2 Mudel olemasolevate andmete alusel

Teostusjooniste alusel loodi 3D mudel sademeveekanaliseerimise, gaasitrassi, vee- ja kanalisatsioonitrassi ning tänavavalgustuse kohta. Sidetrassi ja madalpinge kaablite kohta puudusid teostusjoonised ning kasutati TLPA koondplaani väljavõtet. Kõik kasutatud joonised olid 2-mõõtmelised. Kõrgusandmed saadi vastavalt allpool toodud tabelile.

Võrgu liik	Allikas	Kõrgused ja diameetrid
Sademevee kanalisatsioon	EG-31_17-1-SK (2) VESIVÄRAVA.dwg	Kõrgused BK77 ja diameetrid antud kaevu andmetes
Gaasitorustik	Vesivarava tn gaasitrass A kat.dwg	Kõrgused BK77 ja diameetrid antud profiili skeemidel
Kanalisatsioon	EG-31_17-VK (1) VESIVÄRAVA.dwg	Kõrgused BK77 ja diameetrid antud kaevu andmetes
Vesi(1)	EG-31_17-VK (1) VESIVÄRAVA.dwg	Kõrgused BK77 ja diameetrid antud kaevu andmetes
Vesi(2)	Tallinna Vee andmed Tallinnast	Kõrgused EH2000
Tänavavalgustus	mkmVGT09117_VESIVÄRAVA TV (2).dgn	Puuduvad
Sidetrass	128a.dgn	Puuduvad
Madalpingekaabel	128a.dgn	Puuduvad

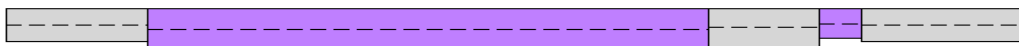
Teostusjoonise alusel saadava mudeli jaoks viidi erinevatelt teostusjoonistelt saadud objektid PostgreSQL/PostGIS andmebaasi tabelitesse kasutades FME tarkvaras loodud protseduure.

**Sademeveekanaliseerimise** torustiku puhul oli vaja kindlaks teha, kas joonisel oli kasutatud sise- või välisdiameetrit. MKM nõuete järgi peab olema teostusjooniste tehnilistes andmetes kajastatud torude sisediameeter ja isevoole kanaliseerimise puhul voolupõhja kõrgus. Seega arvutati mudeli saamiseks telje kõrgus järgmise valemi abil:  $h_{telg} = h_{voolu\ p\phi hi} + 0,5 \times D_{sise}$

Kuna kasutatud joonisel oli toru joonestatud kuni lõikumiseni kaevu tähistava tingmärgiga, siis mudeli loomisel jäi vahe toru otsa ja kaevu seina vahele, kuna tingmärk ei arvesta kaevu tegelikku läbimõõtu. Sademeveekanaliseerimise kaevud viidi punktelementidena luugi kõrgusele EH2000 süsteemis. Visualiseerimise jaoks lisati läbimõõdu ja sügavuse andmed.

**Kanaliseerimise torustiku** puhul on antud lõigus tegemist isevoole kanaliseerimisega, mille käsitlus on analoogne sademeveekanaliseerimise omaga. Mõõtmistulemuste võrdlemisel (aruande osa III) ilmnes, et varasemalt teostusjoonisel on puudus üks kanaliseerimiskaev ja vastavalt sellele on ebaõige ka mudelis kirjeldatud trass.

**Gaasitorustiku** puhul on antud läbimõõdu ja kõrgusinfo profiili skeemidel. Profiilis on toodud erinevate läbimõõtudega lõigud ka siis, kui nad on vaid 10-12 cm pikad. Kõrgused on antud toru peale ja torustiku läbimõõdu muutumise kohtades on erinevate läbimõõtudega torude kõrgused samad, mistõttu ei ole torude teljed ühel sirgel. Seega näeb torustik küljelt vaadates välja nii:



*Pilt 47. Gaasitorustiku profiil*

Mudelisse on viidud toru telgede kõrgused on arvutatud järgmise valemiga:  $h_{telg} = h_{toru\_peale} - 0,5 \times D$ .

Kuna joonisel on kõrgus trassi ulatuses antud toru peale, siis viimisel toru telgedele tekib telje sidususe katkemine.

**Gaasitrassi objektid** antud joonisel olid gaasikaped, mille kohta käiv info oli toodud profiilis, kust saab välja lugeda maapinna kõrguse ja kõrguse toru peale. Joonisel toodud gaasitrassi objektid asusid tööpiirkonnast väljaspool.

**Veetorustiku** puhul on kasutatud teostusjoonisel kõrgusinfo antud ainult ühe lõigu kohta. Teiste lõikude asukoha ja kõrgusinfo on saadud Tallinna Vee poolt esitatud shp failidest. Veeobjektide andmestik lähtematerjalides oli puudulik ja vastuoluline.

**Tänavavalgustus.** Mudelisse võeti postid ja kaablid. Kõrgusinfo puudumise tõttu asuvad postid ja kaablid 0 kõrgusel ja visualiseerimise jaoks lisati posti kõrguseks 6 m. Kaablid on esitatud üksikkaablina. Visualiseerimiseks lisati läbimõõtu 50 mm. Kuna teostusjoonisel esitatud kaitsetorude andmetest ei olnud võimalik üheselt välja lugeda objektide paiknemist, siis neid objekte mudelisse ei viidud.

**Sideobjektid.** Kuna kõrgusinfo puudub jäeti objektid nullkõrgusele. Visualiseerimiseks lisati läbimõõtu 50 mm.

**Madalpingekaablid.** Kuna kõrgusinfo puudub jäeti objektid nullkõrgusele. Visualiseerimiseks lisati läbimõõtu 50 mm.

## Tähelepanekud olemasoleva andmestiku kohta

Võrgu liik	Tähelepanek
Sademeveekanaliseerimine (toru)	Pole tuvastatav, kas tegemist on sise- või välisdiameetriga.
Sademeveekanaliseerimine (kaev)	Kaevu luugi asumine tsentrist väljas määrab valesti kaevu seinte asukoha. Kambri korral puudub kaevu põhja kõrgus, mis ei võimalda kujutada kaevu sügavust.
Gaasitorustik	Erinevate diameetritega torude kõrgused on antud torude peale. 3D elementide loomiseks peaks olema määratud elemendi telg. Teljele viimine toob kaasa sidususe katkemise.
Gaasiobjekt	Antud teostusjoonisel olid objektidena esitatud ainult gaasikaped. Muu informatsioon (keeviste, üleminekute jne kohta) on toodud sõnaliselt profiilides ega ole esitatav objektidena.
Kanaliseerimine	Kõrgusandmed olid ainult uuel trassilõigul. Olemasoleva trassi asukoht ja kõrgused olid saadud Tallinna Vee andmestikust.
Vesi (toru)	Pole tuvastatav, kas tegemist on sise- või välisdiameetriga. Kõrgusandmed olid ainult uuel trassilõigul. Olemasoleva trassi asukoht ja kõrgused olid saadud Tallinna Vee andmestikust.
Tänavavalgustus	Kaabel on esitatud ühe joonena, samuti kaitsetoru. Samas on kaitsetoru puhul tekstilisest kirjeldusest näha, et torude arv on suurem <u>2xø110 mm 750N l=9 m</u> , Puudub informatsioon nende paiknemise kohta. Puudub informatsioon kaablite kõrguse või sügavuse kohta.

### 5.7.10.3 Mudel täiendavate väliuuringute tulemuste alusel

Täiendavate uuringute tulemuste põhjal loodi 3D mudel selles osas, kus

- Puudus koondmudeli jaoks vajaliku detailsusega info
- Tuvastati vastuolu olemasoleva tehnovõrkude ja GPR vahel
- Tuvastati tundmatud objektid GPR mõõdistamise teel

Mudelisse lisati:

- Madal- ja keskpinge kaablid
- Tänavavalgustuse kaablid ja postid
- Sidekaevud ja sidekanaliseerimine
- Teostusjoonisele mittevastavad
  - Sademevee kanalisatsioonitoru
  - Kanalisatsioonitorud ja kaev
- Teostusjooniselt puuduv gaasitrassi toru
- Tuvastatud tundmatud objektid (TTO)

### 5.7.10.4 Mudelites sisalduvad atribuutandmed

Andmete hoidmiseks loodi PostgreSQL/PostGis andmebaasi tabelid, mis kajastavad järgmisi andmeid vastavalt elementide tüüpidele.

## Toru-tüüpi elementide andmed

Väli	Selgitus
gid	ID
ristloike_tyyp	Ring/ristkülik
laius	Ümara kaevu puhul diameeter, mõõdud millimeetrites
korgus	Kõrguse mõõdud millimeetrites
diam_tyyp	Di, De
liik	Tehnovõrgu liik
materjal	Toru materjal
mark	Kaabli toru mark
toru_kbl_arv	Torude/kaablite arv trassis
olek	Kasutuses, kasutusest kõrvaldatud
moot_aeg	Mõõtmise kuupäev
korgus_syst	EH2000/BK77
korgus_liik	Voolupõhi/telg/peale
moot_meetod	TJA, TJS(puurprotokoll), EM, GPR
tapsusklass	1 - avatud kaevik, 2 - EM/GPR, 3 - ligikaudne
allikas	Viide allikale
symbol	Teostusjoonise joonenimi
geom	geometry(LineStringZ,3301)

## Kaev-tüüpi elementide andmed

Väli	Selgitus
gid	ID
tahis	Objekti tähis
maapinna_korgus	Maapinna kõrgus
kaane_materjal	Kaane materjal
kaane_korgus	Kaane kõrgus
pohja_korgus	Kaevu põhjakõrgus
liik	Tehnovõrgu liik
obj_liik	Objekti liik
obj_korgus	Objekti kõrgus
diameeter	Sisediameeter (mm)
materjal	Kaevu, objekti materjal
posti_vund_tyyp	Posti vundamendi tüüp
posti_tyyp	Torude/kaablite arv trassis
posti_korgus	Posti kõrgus
vund_sygavus	Posti vundamendi sügavus
olek	Kasutuses, kasutusest kõrvaldatud
moot_aeg	Mõõtmise kuupäev
korgus_syst	EH2000/BK77
moot_meetod	TJA, TJS(puurprotokoll), EM, GPR
tapsusklass	1 – avatud kaevik, 2- EM/GPR, 3- ligikaudne

allikas	Viide allikale
symbol	Teostusjoonise joonenimi
geom	geometry(PointZ,3301)

Rajatis-tüüpi elementide andmed

Väli	Selgitus
gid	ID
tahis	Rajatise tähis
maapinna_korgus	Maapinna kõrgus meetrites
lae_korgus	Laekõrgus meetrites
pohja_korgus	Põhjakõrgus meetrites
laius	Rajatise laius millimeetrites
pikkus	Rajatise pikkus millimeetrites
seinapaksus	Seina paksus millimeetrites
liik	Tehnovõrgu liik
materjal	Toru materjal
mark	Kaabli toru mark
toru_kbl_arv	Torude/kaablite arv trassis
olek	Kasutuses, kasutusest kõrvaldatud
moot_aeg	Mõõtmise kuupäev
korgus_syst	EH2000/BK77
moot_meetod	TJA, TJS(puurprotokoll), EM, GPR
tapsusklass	1 – avatud kaevik, 2- EM/GPR, 3- ligikaudne
allikas	Viide allikale
symbol	Teostusjoonise joonenimi
geom	geometry(PolygonZ,3301)

#### 5.7.10.5 Mudelites ja nendes sisalduvate objektide ühildamine

Andmete võrdlemise tulemusena otsustati lülitada lõpliku mudeli koosseisu järgmised andmed:

Teostusjoonistelt saadud andmed, mis vastavad uuringute tulemustele:

- Sademeveekanaliseerimise kaevud ja torustik va üks toru, mille kulgemine ei vastanud tegelikkusele
- Gaasitorustik
- Kanalisatsioonitorustik osaliselt
- Veetorustiku uus element

Tallinna Veest saadud andmed:

- Veetorustik

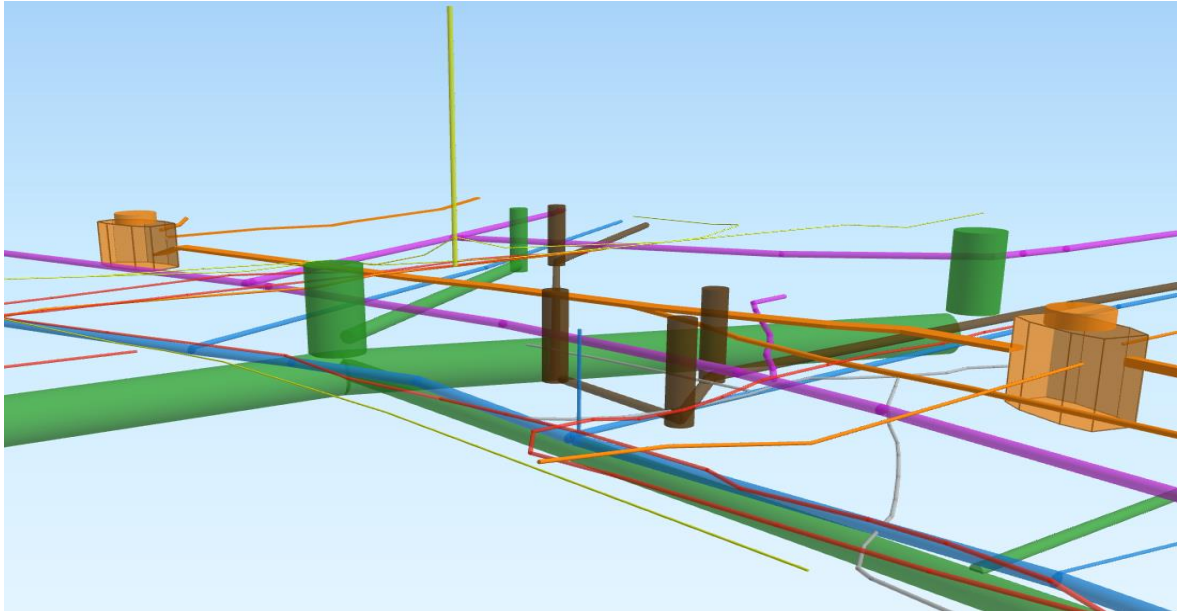
Uuringute tulemusel saadud lisandunud või täpsustunud andmed:

- Madal- ja keskpinge kaablid
- Tänavavalgustuse kaablid ja postid
- Sidekaevud ja sidekanalisatsioon



- Teostusjoonisele mittevastav sademeveekanaliseerimise toru
- Teostusjoonisel puuduv kanalisatsioonitorud ja kaev
- Teostusjooniselt puuduv gaasitrassi toru
- Tuvastatud tundmatud objektid

Andmete ühildamiseks loodi andmebaasis koondmudeli tabelid, kuhu kopeeriti kõik uuringute tulemusel saadud lisandunud või täpsustunud andmed ning kõik teostusjoonistelt saadud andmed, mis vastasid uuringute tulemustele. Andmete korrigeerimiseks kasutati vabavaralist QGIS 3.4.1 tarkvara.



*Pilt 48. Tehnovõrkude 3D koondmudel Vesivärava tn ja F. R. Faehlmanni tn ristmikul*

## 6. NÕUETE PROJEKT MAA-ALUSTE TEHNOVÕRKUDE MÕÕDISTAMISELE JA TULEMUSTELE

### 6.1 Uuringutüübid

Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamiseks ja kaardistamiseks on mitmeid meetodeid. Erinevate meetoditega on võimalik saada erineva kvaliteedi ja usaldusväärsusega andmeid. Sageli on vajadused andmete täpsuse osas erinevad. Näiteks maa-ala üldplaneeringu koostamisel ei ole tehnovõrkude andmete kvaliteet nii oluline kui konkreetse ehitusprojekti koostamisel või kaevetöö teostamisel. Maa-aluste tehnovõrkude uuringu maksumus ning selle läbiviimiseks kuluv aeg sõltub sellest, kui täpseid ja usaldusväärseid andmeid soovitakse saada.

Selleks, et anda selgust nii tehnovõrkude uuringu tellijale kui ka uuringu läbiviijale, milliseid tulemusi ning millise tööga soovitakse saada, on ettepanek jagada maa-aluste tehnovõrkude tuvastamine ja kaardistamine neljaks uuringutüübiks:

- Uuringutüüp 1 – Olemasolevate andmete uuring
- Uuringutüüp 2 – Välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine
- Uuringutüüp 3 – Andmehõive geofüüsikaliste seadmetega
- Uuringutüüp 4 – Maa-aluste objektide mõõdistamine

Uuringutüübid kehtestatakse hierarhiliselt: iga järgnev uuringutüüp tagab parema andmete kvaliteedi ja usaldusväärsuse, kuid nõuab ka rohkem ressursi. Uuringutüüp 1 – olemasolevate andmete uuring – on kohustuslik kõikides uuringutes ning peab eelnema 2., 3. ja 4. tüüpi uuringute teostamisele. Kõik teised uuringutüübid on eraldiseisvad ega eelda eelmise taseme uuringu läbiviimist. Näiteks ei pea tüüp 3 uuringu teostamiseks olema läbi viidud tüüp 2 uuring. Uuringute läbiviimise järjestus ei ole määratud ja uuringu teostaja võib selle ise valida. Näiteks võib samaaegselt teostada nii tüüp 2-s ettenähtud maapealsete objektide mõõdistamise kui ka tüüp 4-s oleva kaevude uuringu või mõõdistused lahtise kaevikuga.

#### 6.1.1 Tüüp 1 – Olemasolevate andmete uuring

Olemasolevate andmete uuring on kohustuslik kõikide maa-aluste tehnovõrkude tuvastamisel ja kaardistamisel. See uuring võib olla iseseisev uuring ning see võib olla ka eeluuring järgmiste tasemete uuringutele. Uuringu eesmärgiks on saada ülevaade situatsioonist uuringualal, olemasolevate andmete täpsusest ja usaldusväärsusest ning nendest lähtuvalt planeerida järgmise taseme uuringuid. Olemasolevate andmete uuringuga on võimalik saavutada maa-alusele tehnovõrgu andmete kvaliteediklass vastavalt olemasolevate andmete kvaliteedile, usaldusväärsusele ja kvaliteediklassile. Kui tehnovõrgu andmetel eelnev kvaliteediklass puudub ja/või andmed on ebausaldusväärsed, siis on võimalik saavutada ainult kvaliteediklass D.

##### 6.1.1.1 Uuringumeetodid

Olemasolevate andmete uuringul tuleb kasutada ja analüüsida kõiki olemasolevaid andmeid, mis on uuringu läbiviijale kättesaadavad ning kust saab infot uuringuala ning sellel asuvate tehnovõrkude kohta.

Olemasolevate andmete uuringuga uusi mõõdistusandmeid ega atribuutandmeid ei looda ning olemasolevate andmete tõesust ei kontrollita.

Uuringupiirkonnast üldpildi saamiseks ning tehnovõrkude trasside eeldatava asukoha kindlaksmääramiseks tuleb kasutada Tallinna geomõõdistuse infosüsteemist saadavat maa-aluste tehnovõrkude andmete koondplaani.

Võimalusel tuleb kasutada geomõõdistuse infosüsteemist saadavaid teostusjooniseid. Olemasolevatest andmetest on teostusjoonistelt saadav info üldjuhul kõige parema kvaliteediga ja objektide omaduste info kirjeldamise detailsus on kõige täpsem, kuna töö on teostatud vahetult pärast ehitamist.

Tallinna geomõõdistuse infosüsteemist saadud andmetest tuleb koostada esialgne skeem, millel tuvastatakse võimalikud tehnovõrgud ja nende valdajad uuringupiirkonnas.

Tehnovõrkude valdajatelt kogutakse lisainfot nende võrkude kohta uuringualas. Saadud andmed võivad olla erinevates formaatides, täpsusklassides ja kompleksuses.

Kõikidest kogutud olemasolevatest andmetest toimub üldskeemi ja uuringu aruande kokkupanek vastavalt uuringu eesmärgile sobivates formaatides.

#### 6.1.2 Tüüp 2 – Välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine

Välivaatluse ja maapealsete objektide mõõdistamise eesmärk on kontrollida olemasolevate andmete õigsust tehnovõrgu maapealsete osade kaudu ning koguda maapealsete objektide kohta täpset asukohainfot.

Uuringu tulemusi saab kasutada ka järgmiste tasemete uuringute planeerimiseks.

Välivaatluse ja maapealsete objektide mõõdistamise uuringuga on võimalik saavutada tehnovõrgu andmetele kvaliteediklass C, kui välivaatlus kinnitab olemasolevaid andmeid või D, kui välivaatlus näitab olemasolevate andmete ebatäpsust ja/või ebausaldusväärsust.

Kui tehnovõrgu andmetel on uuringualas olemas kvaliteediklass A või B ning väliuuring seda kahtluse alla ei sea, siis säilitatakse olemasolev kvaliteediklass.

##### 6.1.2.1 Uuringumeetodid

Antud uuringuga kontrollitakse olemasolevate andmete usaldusväärsust visuaalse vaatlusega uuringualas ning luuakse täpseid lisaandmeid tehnovõrkude maapealsete osade mõõdistamise kaudu.

Välitööde käigus uuringualal toimub maa-aluste tehnovõrkude maapealsete võrguelementide (elektri- ja sidekapid, elektri- ja tänavavalgustuspostid, kaevuluugid, tuletõrjehüdrandid, vee- ja gaasikraanid jne) visuaalne tuvastamine ja pildistamine.

Samuti toimub muude maa-alustele tehnovõrkudele viitavate leidude (trasside kaevejäljed, majasisendid jne) tuvastamine ja pildistamine.

Kõik maa-aluste tehnovõrkude maapealsed võrguelemendid mõõdistatakse positsioneerimise seadmega selliselt, et nende tasapinnalise asendi suurim lubatav viga on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes ja suurim lubatav kõrguslik viga lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes on 3 cm.

Uuringu tulemusena täpsustatakse moodsustatud võrguelementide asukoha- ja kõrgusinfo olemasolevates andmetes ning üldskeemil. Uuringu aruandes antakse hinnang olemasolevate andmete usaldusväärsusele.

### 6.1.3 Tüüp 3 – Andmehõive geofüüsikaliste seadmetega

Maa-aluste tehnovõrkude kohta asukoha- ja kõrgusinfo saamiseks ilma maapinda avamata tuleb kasutada geofüüsikalisi seadmeid: georadar (GPR) ja elektromagnetiline lokaator (EML). Lisaks võib kasutada ka muid tehnilisi seadmeid, kuid neid antud aruandes ei käsitleta.

GPR ja EML uuringu eelduseks on teostatud olemasolevate andmete uuring, kust nähtuvad võimalikud tehnovõrgud ning nende orienteeruvad asukohad uuringualas.

GPR ja EML uuringu eesmärgiks on saada maa-aluste tehnovõrkude kohta täpset asukoha- ja kõrgusinfot. Tehnovõrkude atribuutandmeid antud uuringuga saada ega täpsustada ei ole võimalik.

Ainult ühte geofüüsikalist meetodit kasutades ei ole üldjuhul võimalik tuvastada kõiki maa-aluseid objekte. Mõne pinnase puhul või mõne tehnovõrgu puhul ei suuda üks geofüüsikaline seade (kas GPR või EML) objekti tuvastada. Selleks, et tuvastada ja kaardistada enamus objekte, tuleb kasutada uuringus nii GPR-i kui ka EML-i.

Lisaks tehnovõrkudele saab GPR uuringuga asukohainfot ka muude maa-aluste objektide kohta uuringualal. Kõik tuvastatud ja kaardistatud, kuid tundmatud objektid tuleb esitada uuringu aruandes tuvastatud tundmatute objektidena (TTO).

- GPR ja EML uuringutega on võimalik saavutada tehnovõrgu andmete kvaliteediklassid:
- D – tehnovõrk on koondplaani, aga ühegi geofüüsikalise seadmega tehnovõrku ei tuvastatud;
- B1 – tehnovõrk tuvastati ja kaardistati ühe geofüüsikalise seadmega;
- B2 – tehnovõrk tuvastati ja kaardistati kahe geofüüsikalise seadmega.

Ühes uuringualas võib kasutada erinevaid meetodeid ja geofüüsikalisi seadmeid vastavalt situatsioonile ja tehnovõrgu andmete soovitud kvaliteediklassile.

#### 6.1.3.1 Uuringumeetodid georadariga

Georadar (GPR) on kõrgtehnoloogiline seade, millega töötamine nõuab spetsiaalseid oskusi. Sellest tulenevalt tohib GPR uuringut läbi viia ainult spetsiaalse koolituse saanud spetsialist.

Uuringuala, situatsioon, pinnasetüübid ja uuritavad objektid on erinevad. Efektiivseks GPR uuringu läbiviimiseks ja kvaliteetse tulemuse saamiseks tuleb alati valida sobiv seade ning sobiva sagedusega antenn(id).

Georadarid on erinevad ning samuti on erinevad nende seadistamise vajadused ja võimalused uuringu läbiviimiseks. Sellest tulenevalt tuleb GPR uuringu teostamisel järgida seadme tootja juhiseid, piiranguid ja nõudeid.

Välise positsioneerimiseseadme kasutamisel tuleb jälgida, et see väljastab andmeid GPR-i jaoks sobivas formaadis, vajaliku täpsusega ja sagedusega. Positsioneerimise täpsusest ja kvaliteedist sõltub uuringu tulemus.

Georadar on seade, mida mõjutavad maapinna geofüüsikalised omadused ning need omadused võivad uuringualas ajas muutuda sõltuvalt ilmast. GPR uuring on soovitatav läbi viia sellise ilmaga, mis

võimaldab kõige kvaliteetsemaid tulemusi. Lubatud ei ole samas uuringualas teostada GPR uuringut erineva ilmaga (näiteks pool uuringualast uuritakse kuiva ilmaga ning teine pool märja maapinnaga kohe pärast vihma).

GPR uuringu läbiviimisel ühekanalilise georadariga tuleb vastavalt uuringuala suurusele, uuringu eesmärgile ja tehnovõrkude tihedusele valida sobiv andmehõive meetod:

- andmete kogumine risti tehnovõrguga;
- andmete kogumine uuringuvõrgu järgi.

Andmete kogumist risti tehnovõrguga tohib kasutada ainult ühe tehnovõrgu jälitamiseks või uuringualas, kus on ainult ühesuunalised tehnovõrgud.

Tehnovõrgu kaardistamiseks andmete kogumine risti tehnovõrguga peab toimuva viisil, mis tagab tehnovõrgu asukoha- ja kõrgusandmete täpsuse vastavalt soovitud kvaliteediklassile. Sirgel lõigul ei tohi olla skaneerimisliinide vahe suurem kui 100 cm ning käänukohtades suurem kui 50 cm.

Andmete kogumisel uuringuvõrguga ei tohi skaneerimisliinide vahe olla suurem kui 50 cm.

Vastavalt uuringu eesmärgile ja strateegiale tuleb valida, kas toimub kohapealne reaajas sihtmärgi tuvastamine koos mahamärkimisega või andmehõive koos salvestamisega ning järeltöötusega. Andmete järeltöötlus annab üldjuhul parema andmete kvaliteedi.

Uuringualas, kus on mitmeid erisuunalisi tehnovõrke, on järeltöötlus kohustuslik.

GPR uuringu läbiviimisel antennimassiiviga georadariga ei tohi antennikanalite vaheline kaugus olla rohkem kui 10 cm ning andmete kogumise tihedus peab olema võrdne või väiksem kui antennikanalite vaheline kaugus.

Andmete kogumisel antennimassiiviga georadariga tuleb skaneerida kogu uuringuala selliselt, et skaneerimise paanide vahe ei ole suurem kui antennikanalite vaheline kaugus.

Uuringualal kohtades, mis ei ole ligipääsetavad suurele autoga järelveetavale antennimassiiviga georadarile, tuleb andmehõive teostada kas käsitsi lükatava antennimassiiviga georadariga või uuringuvõrgu meetodil ühekanalilise georadariga.

Uuringutulemused tuleb esitada formaadis, mis võimaldab nende edasist töötlust CAD/GIS tarkvaradega.

#### *6.1.3.2 Uuringumeetodid EML-ga*

Elektromagnetiline lokaator (EML) on geofüüsikaline seade, millega töötamine nõuab spetsiaalseid oskusi. Sellest tulenevalt tohib EML uuringut läbi viia ainult spetsiaalse koolituse saanud spetsialist.

Uuringuala, situatsioon, pinnasetüübid ja uuritavad objektid on erinevad. Efektiveks EML uuringu läbiviimiseks ja kvaliteetse tulemuse saamiseks tuleb alati valida sobiv seade, sagedus ja meetod.

Alati, kui on võimalik kasutada aktiivset EML meetodit, siis tuleb seda teha. Aktiivsed meetodid prioriteetsuse järjekorras on: otseühendus, tuvastustraat, klamber, sond ja induktioon läbi maapinna.

Tehnovõrgu kaardistamiseks andmete kogumine aktiivse meetodiga peab toimuma viisil, mis tagab tehnovõrgu asukoha- ja kõrgusandmete täpsuse vastavalt soovitud kvaliteediklassile.

Tehnovõrgu jälitamisel sirgel lõigul tuleb trass maha märkida selliselt, et mõõdistuspunktide vahe ei ületaks 200 cm ja trassi asukohaline ja/või kõrguslik kõrvalekalle ei ületaks lubatud piiri.

Käänukohas valitakse koordinaatpunktide vahekaugus arvestusega, et koordinaatpunktide ühendamisel tekkiva sirgjoone ja tehnovõrgu tegeliku asukoha erinevus ei ületaks suurimat lubatud tasapinnalise asendi viga, mis on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes.

Passiivset meetodit kasutatakse maa-aluse tehnovõrgu jälitamiseks ainult juhul, kui aktiivne meetod ei ole võimalik.

Maa-aluste tehnovõrkude geofüüsikaliste seadmete uuringus, kus GPR-i ei kasutata, tuleb lisaks aktiivse meetodiga tehnovõrkude kaardistamisele uurida passiivse meetodiga kogu uuringuala tuvastamata jäänud tehnovõrkude leidmiseks selliselt, et uurimisliinide vahe ei oleks suurem kui 100 cm.

Juhul kui teostatakse EML uuring ainult passiivse meetodiga ning ilma GPR uuringuta, siis on maa-aluse tehnovõrgu andmete maksimaalne kvaliteediklass C.

Kõik EML-ga tuvastatud maa-alused tehnovõrkude koordinaatpunktid tuleb positsioneerimise seadmega salvestamiseks täpselt maapinnale märkida.

Maapinnale tuleb märkida tehnovõrgu liik ning koordinaatpunkti asukoht ja sügavus maapinnast. Uuringualas, kus on mitmeid tehnovõrke, tuleb kasutada iga tehnovõrgu jaoks erinevat värvi või koodi.

Märked tuleb teha maapinnale aerosoolvärvi markeriga, mis on biolagunev.

Kohtades, kus ei ole võimalik kasutada aerosoolvärvi, võib kasutada peenikesi puidust vardaid. Metallist vaiade kasutamine ei ole lubatud, kuna need võivad kahjustada maapinna lähedal paiknevaid tehnovõrke.

Trassi maha märkimise ja selle asukoha positsioneerimise seadmega salvestamise vahele peaks jääma minimaalne aeg, aga mitte rohkem kui 48 tundi.

Uuringutulemused tuleb esitada formaadis, mis võimaldab nende edasist töötlust CAD/GIS tarkvaradega.

#### 6.1.4 Tüüp 4 – Maa-aluste objektide mõõdistamine

Maa-aluste objektide mõõdistamise uuringu eesmärgiks on hankida täpseid asukoha- ja kõrgusandmeid ning lisaks ka atribuutandmeid tehnovõrgu kohta. Läbi selle saab ka täpselt mõõdistatud kõrgusandmeid geofüüsikaliste seadmete kalibreerimiseks.

Maa-aluse tehnovõrgu mõõdistamiseks on vajalik füüsiline ja visuaalne juurepääs maa-alusele tehnovõrgule tervikuna või selle koordinaatpunktidele.

Maa-aluste objektide mõõdistamine hõlmab järgmisi mõõdistuse tüüpe:

- Teostusmõõdistused avatud kaevikuga;
- Teostusmõõdistused kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgule;
- Kaevude uuring;
- Surfimine.

Maa-aluste objektide mõõdistamise uuringuga on võimalik saavutada tehnovõrgu andmete kvaliteediklass A.

#### 6.1.4.1 Teostusmõõdistused avatud kaevikuga

Maa-aluse tehnovõrgu asukoht mõõdistatakse ja selle atribuutandmed kirjeldatakse enne kaeviku sulgemist.

Teostusmõõdistamisel avatud kaevikuga lähtutakse MKM määruse 7. peatükis „Ehitise liigist tulenevad tehnovõrgu teostusmõõdistamise täiendavad nõuded“ sätestatust ja A-kvaliteediklassile esitatud täpsusnõuetest.

Kui A-kvaliteediklassi nõuded andmete täpsusele lähevad vastuollu MKM määrusega, tuleb lähtuda nõuetest, mis tagavad täpsemad ja usaldusväärsemad andmed.

#### 6.1.4.2 Teostusmõõdistused kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgule

Kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgu teostusmõõdistamisel tuleb kasutada tehnovõrgu asukoha ja kõrguse kaardistamist võimaldavat asjakohast protokollit, nagu puurpäevik.

Kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgu asukoht ja kõrgus tuleb tuvastada vähemalt ühe geofüüsikalise vahendiga.

Kõik mõõdistuspunktid tuleb positsioneerimise seadmega salvestamiseks täpselt maapinnale märkida.

Kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgu asukoha kinnitamiseks tuleb selle tegelikku asukohta ja kõrgust kontrollida võimalusel kontrollmõõtmistega avatud kaevikust, kaevust või vajadusel teostada surfimist.

Juhul, kui kinnisel meetodil paigaldatud asukoha ja kõrgusandmeid ei ole võimalik kinnitada kaevikust, kaevust või surfiga, on antud tehnovõrgu andmete kvaliteediklass B1 või B2.

#### 6.1.4.3 Kaevu uuring

Kaevu uuring võib põhjustada soovimatuid tagajärgi või olla eluohtlik. Sellest tulenevalt tohib kaevu uuringut läbi viia ainult spetsiaalse koolituse saanud spetsialist. Kaevu uuringuks on vaja tehnovõrgu valdaja luba. Juhul, kui kaevukaas on kahjustatud või seda ei ole võimalik avada, tuleb sellest teavitada tehnovõrgu valdajat.

Kaevu uuring tuleb teostada kõikidele uuringualas olevatele tehnovõrkudele, millele soovitakse A-kvaliteediklassi.

Kui uuritava tehnovõrgu kaev jääb väljapoole uuringuala, siis tuleb vajadusel uurida kaevu ka uuringualast väljaspool.

Kaevu uuring hõlmab järgnevaid töid:

- Kaevu sisemõõtude mõõdistamine;
- Kaevu sisenevate ja väljuvate torude ning maakaablite kirjeldamine (materjal, kogus, asetsemine jne);
- Torude sisemõõtude mõõdistamine;
- Pakettide välismõõtude mõõdistamine;
- Torude ja maakaablite sügavuse mõõdistamine maapinnast;
- Fotod kaevu sisemusest ja selles olevatest maakaablitest ja torudest;
- Kaevuskeemi loomine.

#### 6.1.4.4 Surfimine

Surfi võib kasutada kas ühe konkreetse või väiksel alal mitme maa-aluse tehnovõrgu tuvastamiseks ja kaardistamiseks.

Surfimine eesmärk on saada visuaalne ja füüsiline juurdepääs maa-alusele tehnovõrgule.

Surfimine eelduseks on maa-aluse tehnovõrgu asukoha eelnev tuvastamine vähemalt ühe geofüüsikalise seadmega.

Surfimine tuleb teostada käsitsi labidaga kaevates või vaakummeetodil suruõhku ja/või vett kasutades.

Surfi teostamisel kohas, mis on kaetud kõva kattega (asfalt, kiviparkett vms), mis ei võimalda labidaga ega vaakummeetodil kaevata, tuleb kõva kate eemaldada vajalikus ulatuses.

Surfimine käigus tuleb paljastada maa-alune tehnovõrk ulatuses, mis võimaldab kaardistada selle asukohta, kõrgust, tüüpi, materjali ning välimõõtu.

Surfi tulemusel paljastatud maa-alune tehnovõrk mõõdistatakse positsioneerimise seadmega selliselt, et selle tasapinnalise asendi suurim lubatav viga on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes ja suurim lubatav kõrguslik viga lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes on 3 cm.

Peale maa-aluse tehnovõrgu mõõdistamist ning atribuutandmete kogumist tuleb surfi koht taastada vastavalt nõuetele.



UURINGUTÜÜP	UURINGU NIMETUS	UURINGUMEETODID	UURINGU KASUTAMINE
<b>Tüüp 1</b>	Olemasolevate andmete uuring	Olemasolevad andmed linna geomöödistuse infosüsteemist, teostusjoonistelt ja võrgu valdajatelt	Piirkonna kohta üldinfo saamine, üldiste planeeringute tegemine, edasiste uuringute planeerimine
<b>Tüüp 2</b>	Välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine	Olemasolevate andmete uuring ning tehnovõrgu maapealsete osade tuvastamine, pildistamine ja mõõdistamine	Üldiste planeeringute tegemine, edasiste uuringute planeerimine, maapealsete ehitiste projekteerimine
<b>Tüüp 3</b>	Andmehõive geofüüsikaliste seadmetega	Olemasolevate andmete uuring; andmehõive EML aktiivse ja passiivse meetodiga; andmehõive GPR erinevate meetoditega ja järeltöötlus	Maapealsete ja maa-aluste ehitiste planeerimine ja projekteerimine "tavameetodil"
<b>Tüüp 4</b>	Maa-aluste objektide mõõdistamine	Olemasolevate andmete uuring; kaevu uuring; surfimine; mõõdistused avatud kaevikuga; teostusmõõdistused kinnisel meetodil paigaldatud tehnovõrgule	Teostusdokumentatsiooni koostamine, 3D lähtemudel, 3D projektmudel, 3D teostusmudel

Tabel 16. Maa-aluste tehnovõrkude uuringutüübid

## 6.2 Maa-aluste tehnovõrkude asukoha- ja kõrgusandmete kvaliteediklassid

Käesolevas projektis tehakse ettepanek luua maa-aluste tehnovõrkude asukoha- ja kõrgusandmete kvaliteediklassid.

Kvaliteediklass näitab maa-aluse tehnovõrgu asukoha- ja kõrgusandmete täpsust ja usaldusväärsust.

Kvaliteediklass omistatakse uuringualas igale maa-alusele tehnovõrgu elemendile eraldi.

Ühel tehnovõrgul võib olla erinevaid kvaliteediklasse vastavalt sellele, millises ulatuses ning milliste meetoditega on seda uuritud ja kaardistatud.

Tellijal võib tellida ühes uuringus erinevaid andmete kvaliteediklasse. Kvaliteediklasse võib tellida kindlale piirkonnale kõikidele tehnovõrkudele või ühele konkreetsele tehnovõrgule uuringualas. Millist kvaliteediklassi on tehnovõrgule võimalik omistada, selgub uuringu lõpuks.

Mida kõrgemad on nõuded kvaliteediklassile, seda kallim ja aeganõudvam on uuring.

Kvaliteediklass määratakse igale maa-alusele tehnovõrgu elemendile eraldi uuringu käigus.

Kvaliteediklassi määramisel võetakse arvesse:

- Olemasolevate (uuringule eelnenud) andmete kvaliteediklass;
- Teostatud uuringu tüüp;
- Tuvastus- ja kaardistusmeetod;
- Positsioneerimise meetod.

Kvaliteediklasside aluseks on võetud mitmes riigis (PAS 128<sup>24</sup>, CSA S250<sup>25</sup>, ASCE 38-02<sup>26</sup>) kasutusel olev klassifikatsioon: D, C, B ja A klass.

See on oluline nii suurte hangete läbiviimisel kui ka regulatsioonide ja tegevuste harmoniseerimisel rahvusvaheliselt. See on samuti oluline piiriüleste projektide (Rail Baltica, TAL-HEL tunnel jmt) jaoks.

Planeerimiseks ja projekteerimiseks piisab üldjuhul B1 või B2 kvaliteediklassist.

Kvaliteediklass A näitab lisaks tehnovõrgu asukoha- ja kõrgusandmete täpsusele ka atribuutandmete täpsust ja usaldusväärsust.

A kvaliteediklassi andmeid on vaja üldjuhul teostusdokumentatsiooni koostamiseks ja 3D mudeli (Lähtemudel, Projektimudel, Teostusmudel) loomiseks.

### 6.2.1 Kvaliteediklass D

Teostatud on ainult olemasolevate andmete uuring, mis on saadud Tallinna geomöödistuste infosüsteemist ja võrguvaldajatelt.

Andmete kvaliteet ja usaldusväärsus tugineb täiel määral olemasolevatele andmetele.

Vastavalt MKM nõuetele on maa-aluse tehnovõrgu tasapinnalise asendi suurim lubatav viga 1 meeter lähimate möödastamisvõrgu punktide suhtes. Kui puudulike lähteandmete tõttu ei ole tagatud 1-meetrine täpsus, on see tähistatud võrgurajatis kirjega „ORIENT“.

<sup>24</sup> Specification for underground utility detection, verification and location, BSI 2014

<sup>25</sup> Mapping of Underground Utility Infrastructure, CSA Group, 2012

<sup>26</sup> Standard Guideline for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data, ASCE 2003

Kvaliteediklass D ei sisalda üldjuhul tehnovõrgu maa-aluste osade kõrgusliku asendi täpsust.

Olemasolevate andmete usaldusväärsus tehnovõrgu asukoha ja kõrgusinfo kohta on madal.

Tehnovõrgu atribuutandmed (läbimõõt, materjal jms) on võetud olemasolevate andmete uuringust ning neid ei ole kontrollitud ega täpsustatud.

#### 6.2.2 Kvaliteediklass C

Teostatud on olemasolevate andmete uuring, mis on saadud Tallinna geomöödistuste infosüsteemist ja võrguvaldajatelt.

Lisaks on teostatud välivaatlus ja tehnovõrgu maapealsete osade mõõdistamine, mis kinnitavad või täpsustavad olemasolevaid andmeid.

Maapealsed osad on mõõdistatud vastavalt MKM nõuetele ning nende tasapinnalise asendi suurim lubatav viga on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes ja suurim lubatav kõrguslik viga on 3 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes.

Maa-aluste osade orienteeruv asukoha- ja kõrgusinfo on võetud olemasolevate andmete uuringust ning neid ei ole uuringu käigus täpsustatud.

Tehnovõrgu atribuutandmed (läbimõõt, materjal jms) on võetud olemasolevate andmete uuringust ning neid ei ole kontrollitud ega täpsustatud.

#### 6.2.3 Kvaliteediklass B1

Teostatud on olemasolevate andmete uuring ning välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine.

Lisaks on tehnovõrgu maa-alused osad tuvastatud ja kaardistatud GPR uuringuga või EML aktiivse meetodi uuringuga ning selle uuringu tulemusel saadud andmetega on täpsustatud olemasolevaid andmeid.

Täpsustatud andmetega maa-aluse tehnovõrgu suurim lubatav tasapinnalise asendi viga on 10 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes.

Suurim lubatav kõrguslik viga lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes 20% tehnovõrgu sügavusest maapinnast.

Tehnovõrgu atribuutandmed (läbimõõt, materjal jms) on võetud olemasolevate andmete uuringust ning neid ei ole kontrollitud ega täpsustatud.

#### 6.2.4 Kvaliteediklass B2

Teostatud on olemasolevate andmete uuring ning välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine.

Lisaks on tehnovõrgu maa-alused osad tuvastatud ja kaardistatud GPR ja EML aktiivse meetodi uuringutega ning nende tulemusel saadud andmetega on täpsustatud olemasolevaid andmeid.

Suurim lubatav maa-aluse tehnovõrgu tasapinnalise asendi viga on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes.

Suurim lubatav kõrguslik viga lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes on 10% tehnovõrgu sügavusest maapinnast.

Tehnovõrgu atribuutandmed (läbimõõt, materjal jms) on võetud olemasolevate andmete uuringust ning neid ei ole kontrollitud ega täpsustatud.

#### 6.2.5 Kvaliteediklass A

Teostusmõõdistuse korral on teostatud tehnovõrgu tegeliku asukoha ja kõrguse mõõdistamine avatud kaevikuga vastavalt MKM nõuetele.

Topo-geodeetilise uuringu korral on teostatud olemasolevate andmete uuring ning välivaatlus ja maapealsete objektide mõõdistamine.

Lisaks on tehnovõrk tuvastatud ja kaardistatud GPR ja EML uuringuga.

Andmete verifitseerimiseks on saadud mitmes koordinaatpunktis füüsiline juurdepääs tehnovõrgule (kaev, surf) ning teostatud mõõdistus.

Teostatud on kaevude uuringud.

Suurim lubatav tasapinnalise asendi viga on 8 cm lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes ja suurim lubatav kõrguslik viga lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes on 3 cm + 1% tehnovõrgu sügavusest maapinnast.

Kontrollitud ja vajadusel täpsustatud on kõik tehnovõrgu atribuutandmed (läbimõõt, materjal jms).

KVALITEEDIKLASS	ANDMETE KVALITEET JA USALDUSVÄÄRSUS					TEOSTATUD UURINGUD
	Maapealsed osad		Maa-alused osad		Atribuutandmed	
	Asukoht	Kõrgus	Asukoht	Kõrgus		
<b>D</b>	ei ole teada	ei ole teada	ei ole teada	ei ole teada	ei ole teada	Olemasolevate andmete uuring
<b>C</b>	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 3 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	ei ole teada	ei ole teada	ei ole teada	Olemasolevate andmete uuring ning välivaatlus ja maapealsete osade mõõdistamine
<b>B1</b>	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 3 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 10 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 20% tehnovõrgu sügavusest maapinnast	ei ole teada v.a teostusjoonistel	Olemasolevate andmete uuring, välivaatlus ja maapealsete osade mõõdistamine ning GPR või EML uuring
<b>B2</b>	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 3 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 10% tehnovõrgu sügavusest maapinnast	ei ole teada v.a teostusjoonistel	Olemasolevate andmete uuring, välivaatlus ja maapealsete osade mõõdistamine ning GPR ja EML uuring
<b>A</b>	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 3 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 8 sentimeetrit lähimate mõõdistamisvõrgu punktide suhtes	suurim lubatav viga on 3 sentimeetrit + 1% tehnovõrgu sügavusest maapinnast	Kontrollitud ja täpsustatud	Olemasolevate andmete uuring, välivaatlus ja maapealsete osade mõõdistamine, GPR ja EML uuring ning andmete verifitseerimine

Tabel 17. Maa-aluste tehnovõrkude asukoha- ja kõrgusandmete kvaliteediklassid

### 6.3 Täiendused maa-aluste tehnovõrkude mõõdistamise vormistamisele

Hetkel on kogu toimiv protsess üles ehitatud 2D visuaalsele kujutamisele ja sisaldab tehnovõrkude omanike vajadustele ja käsitlustele vastavaid üldistusi ning kohati teatavat skemaatilisust. Sellest tulenevalt on vajalik teha muudatusi nõuetes. Muudatuste ulatus ja iseloom on erinev üleminekul 2,5D või 3D-jooniste kasutamisele.

Üleminek 2,5D-le jätab alles võimaluse esitada sama fail nii tellijale, ehitusregistrile ja omavalitsusele. Sellisel juhul ei ole vaja teha muudatusi tekstide, joonmõõtude ega dimensioonide kasutamise osas.

Samuti ei ole vajalik teha olulisi muudatusi sidususe käsitluses. Kuna eesmärgiks on salvestada joonises esinevad elemendid 3D-elementidena andmebaasi, siis on vajalik esitada nõuded elementide kõrgusandmete käsitlemiseks.

Üleminekul 3D-le sisalduvad objektide kõrgusandmed nende geometrias. Probleeme võib tekitada tellijate (trassiomanike) erinõuete arvestamine, kuna need on välja töötatud vastavalt 2D failide piirangutele. Üleminek toob kaasa vajaduse muuta tekstide, joonestiilide ning sidususe käsitlemise nõudeid.

Mõlemal juhul lisandub atribuutandmete kasutamise vajadus, kuid andmekoosseis on erinev.

Vajalik on koostada nõuded 3D baasist alusandmetena väljastatavatele andmetele sõltuvalt uuringu tüübist.

3D andmebaasi kantakse elemendid, millel on kirjeldatud atribuutandmed.

#### 6.3.1 Täiendused maa-aluste tehnovõrkude topo-geodeetilistele uuringute vormistamisele

2,5D faili esitamisel

- Usaldusväärseid andmeid ei ole vaja korduvalt uurida;
- Maa-alused tuvastatud tundmatud objektid, mis võivad olla nii pind- kui joonobjektid, kantakse kihile „ERINOUE\_TTO“, kasutades joonestiili „KONTUUR“;
- Seletuskirjas tuleb esitada tuvastatud tundmatute objektide loetelu koos selgitavate märkustega;
- Tehnovõrguobjektidele tuleb vajadusel lisada atribuutandmed;
- Tehnovõrguobjektidele tuleb lisada kvaliteediklass ja uuringu tüüp;
- Uuringutes kasutatakse koordinaatpunkti kui kõrguse info kandjat tehnovõrgu käänupunktides. Tehnovõrgu algus ja lõppkõrgus sisestatakse koos omadustega objekti vormi;
- Koordinaatpunktide kasutamine
  - Koordinaatpunktid saadakse mõõdistamise teel;
  - Koordinaatpunktid saadakse olemasolevatest teostusjoonistest;
- Kui tehnovõrk on kirjeldatud erineva kvaliteediklassi koordinaatpunktidega, siis omistatakse tehnovõrgu elemendile madalama koordinaatpunkti kvaliteediklass;
- Uuringu tüüp 3 ja 4 korral tuleb tellijal ette anda uuringu sügavus. Kui lähteülesandes on uuringusügavus määramata, uuritakse kuni 3 m sügavuseni;
- Tellija erinõudel võib uuringu esitada 3D failina.

3D faili esitamisel

- kasutatakse MKM nõuetes määratud kihtide jaotust;
- kasutatakse MKM nõuetes määratud joonestiile nii pindade kui joonte puhul;
- kasutatakse MKM nõuetes määratud sümboleid;

- kasutatakse ühtseid värve tehnovõrkude visualiseerimiseks;
  - 3D faili võimalikud värvikoodid

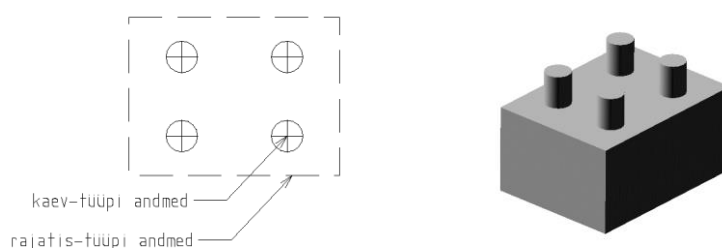
Tehnovõrk	Värv
Vesi	#1780d5
Sademeveekanaliseatsioon	#007f3f
Drenaaž	#00cc00
Kanaliseatsioon	#4c1300
Elekter, madal-, keskpinge ja tänavavalgustus	#00ffff
Side	#cd2bdf
Gaas	#ff7f00
Kaugküte	#cc0033

- 3D joonisel ei kasutata kehtivates MKM nõuetes kirjeldatud sidususe reegleid;
- 3D joonisel kasutatavad tekstid kujutatakse nullkõrgusel;
- 3D jooniste puhul esitatakse koordinaatpunktid koos kirjeldusega ainult tehnovõrgu ühenduskohtades milleks on liitmikud, läbimõõdu üleminekud, jätkud, keevised, pimeäärikud jne.

### 6.3.2 Täiendused maa-aluste tehnovõrkude teostusmöödistamise vormistamisele

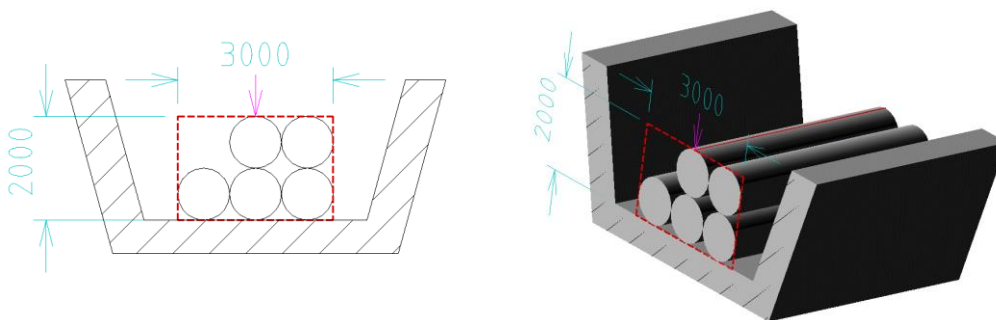
Teostusjoonis tuleb esitada 2,5D failina, mis võimaldab teostusmöödistatud objektide kandmist 3D andmebaasi 3D geometriat omavate objektidena.

- Postide, tugede, kappide jt trassielementide maa-alused osad (vundamendid) tuleb kirjeldada viisil, mis võimaldab neid kujutada 3D elementidena.
- Kaugküttetorustiku teostusmöödistamisel tuleb möödistada torud. Trassi telg kantakse joonisele tellija erinõudel.
- Kaugküttetorude andmestik lisatakse torule.
- Kaugkütte soojakünad kujutatakse telje abil. Küna mõõtmed lisatakse teljele atribuutidena. Telg möödistatakse küna peale.
- Kõikide võrkude survetorustike kõrgus möödistatakse toru peale (sh kaugkütte torud).
- Isevolsete torustikel möödistatakse toru voolupõhja kõrgus.
- Tehnovõrkude skemaatiline kujutamine on lubatud ainult Tellija erinõudel ERINOUE\_\* kihil.
- Tehnovõrgu objektide skemaatiline esitus muudel kihtidel ei ole lubatud.
- Ümarkaevude andmed lisatakse kaevu tingmärgile. Kui kaevu läbimõõt on väiksem kui 1,5 m, siis tõusutorusid eraldi ei käsitleta.
- Kui on tegemist neljakandiliste või erikujuliste kaevudega, kujutatakse kaevukeha mõõtkavaliselt rajatise kontuurina, millele lisatakse rajatis-tüüpi objekti andmed.
- Tõusutorudega maa-aluste kambrite puhul lisatakse kambri andmed rajatise kontuurile ja tõusutorude andmed lisatakse kaevu (luugi) tingmärgile. Selliste objektide puhul lisatakse kaevu number nii kambri kui ka kaevude (luukide) tingmärkidele.



Joonis21. Kambrite kujutamine

- Üksikkaablit käsitletakse toruobjektina.
- Kui kaablid paiknevad üksteisest kaugemal kui 20 cm siis tuleb nad eraldi välja joonistada.
- Kui kaablid paiknevad ligemal kui 20 cm kujutatakse nad trassi telje abil. Trassi telg tuleb katkestada hargnemiskohtades ja lisada igale trassilõigule paketi mõõtmed ja ristlõige.
- Trassi telje abil kujutatakse:
  - Soojaküna
  - Elektri kaablite kulgemine (kaeviku telg)
  - Elektri kanalisatsiooni kulgemine (kaeviku telg)
  - Sidekaablite kulgemine (kaeviku telg)
  - Sidekanalisatsiooni kulgemine (kaeviku telg).
- Trassi telg mõõdistatakse paketi peale ning lisatakse atribuutandmed, mis sisaldavad paketi mõõtmeid ja ristlõiget. Pakett-elementide sisu kajastatakse viisil, mis võimaldaks vajadusel paketi sisu kolmemõõtmeliselt kujutada.



Joonis 22. 2x3 paketi kujutamine

- Kaitse ja reservtorud kujutatakse analoogselt kaablitele toru- või pakett-tüüpi objektidena. Mitmes kihis paiknevate reservtorude puhul mõõdistatakse trassi telg ja määratakse paketi mõõtmed ning ristlõige.
- Sõlmede kohta koostatud skeemid ja sõlmedest tehtud fotod tuleb esitada ka eraldi failidena, failivormingus \*.jpg. Failid nimetatakse vastavalt teostusjoonisel olevale koordinaatpunkti numbrile. Näiteks: Koordinaatpunkti nr 102 juurde kuuluvad lisafailid nimetatakse 102\_foto.jpg ja 102\_skeem.jpg.
- Sõlmede kohta esitatavad skeemid ja fotod peavad olema orienteeritud põhja suunas. Esitatavate fotode resolutsioon 1920x1080 (FHD) või suurem ja ühe faili maht kuni 500kB.
- Koordinaatpunktid.
  - Teostusjoonise korral tuleb kõikidesse tehnovõrkude iseloomulikesse punktidesse lisada koordinaatpunktid.
  - Koordinaatpunktide abil edastatakse tehnovõrgu käänupunkti kõrgust antud punktis.
  - Koordinaatpunktide abil edastatakse tehnovõrgu objekti liiki kõrgust ja mõõtmeid antud punktis.
  - Koordinaatpunktis kirjeldatakse tehnovõrgu osad/sõlmed:
    - Andmeedastusseade
    - Hargmik
    - Hüdrolukk
    - Hülss
    - Kaevuta ühenduskoht
    - Katoodkaitsemuundur
    - Keevisliide
    - Käänupunkt



- Lõõtskompensaator
  - Läbimõõduüleminek
  - Maakraan
  - Muhv
  - Pimeots
  - Põlv
  - Sadulharu
  - Sulgeseade
  - Teenindussõlm
  - W-kondensaadikogur
  - Väljumiskoht
  - Üksikmaandus (elektrood).
- Ristuvad objektid mõõdistatakse analoogselt uute objektidega.
  - Ristuvatele objektidele lisatakse atribuutandmed ja koordinaatpunktid koos kõrgusega.
  - Kõikidele tehnovõrguobjektidele lisatakse kvaliteediklass ja uuringutüüp.

### 6.3.3 Joonistes kasutatavad elemenditüübid

Joonistes on lubatud kasutada järgmisi elemendi tüüpe.

Nr	Element	AutoCAD	MicroStation
1	Sirglõik	Line	Line (Type 3)
2	Murdjoon	Polyline, Lwpolyline	Linestring (Type 4)/Complex Chain (Type 12)
3	Sümbolelement	Insert	Cell Header (Type 2)
4	Tekst	Text	Text (Type 17)
5	Ellips	Ellipse, Circle	Ellipse (Type 15)
6	Pind <sup>27</sup>	Lwpolyline (closed)	Shape (6), complex shape (14)
7	Kaar	Arc	Arc (Type 16)

Tabel 18. Lubatud elemenditüübid

<sup>27</sup> Pindelemendiks loetakse murdjoont, mis on suletud.

## 7. REFERENTSID

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Ehisregistri avaleht.

<https://www.ehr.ee/app/esileht?0>

Tallinna Linnaplaneerimise Amet. Tallinna geomöödistuste infosüsteem.

<https://geo-tln.tallinnlv.ee/index.php#>

Tartu Linnavalitsus. Tartu piirkonna geoarhiiv.

<https://geoarhiiv.tartu.ee/>

Topo-geodeetilistele uuringule ja teostusmöödistamisele esitatavad nõuded. (vastu võetud 14.04.2016, jõustunud 22.04.2016) – *Riigi Teataja*

<https://www.riigiteataja.ee/akt/119042016003> (13.05.2017)

Specification for underground utility detection, verification and location, BSI 2014

Mapping of Underground Utility Infrastructure, CSA Group, 2012

Standard Guideline for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data, ASCE 2003

Ground Penetrating Radar, David J. Daniels 2004

GPR applied to the detection and localization of utilities in urban areas, Aleksandar Ristić 2009

Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, Davis, J.L. and Annan, A.P. 1989

Surface-Penetrating Radar, David J. Daniels 1996

Asfaltkatteid mittepurustava vastuvõtusüsteemi väljatöötamine, AS Teede Tehnokeskus 2014

The essential guide to utility surveys, The Survey Association UK, 2018

abc&xyz of locating buried pipes and cables, Radiodetection 2008

Utility mapping with IDSGeoRadar system, IDS 2018

Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar, Andrea Benedetto and Lara Pajewski 2015

GPR Basics, Daniel P. Bigman 2018

Utility Locating Handbook, GSSI 2016