

Töövõtja:
Georadar OÜ
Registrikood 14448684

Tellija:
K-Projekt Aktsiaselts
Registrikood 12203754



GEORADARI UURING
Tina tänaval Tallinnas



Tallinn
02.09.2020

Koostas: Olav Harjo

1. SISSEJUHATUS

Käesolev georadari uuringu aruanne on koostatud K-Projekt Aktsiaselts tellimusel ning annab ülevaate Tallinnas Tina tänaval teostatud georadari uuringust.

Vastavalt lähteülesandele tuli teostada Tina tn georadari uuring teemaa laiuses. Selleks, et tagada tahhümeetriga positsioneerimise võimalus, jagati uuringuala kaheks lõiguks:



Uuringuala

Kuna tegemist on piirkonnaga, kus on igapäevaselt palju parkivaid autosid mis segavad andmehõivet, telliti liikluskorraldus OÜ-lt Ramudden ning taotleti tänava ajutise sulgemise luba Tallinna Linnavalitsusest.

2. TEHNOLOOGIA JA MEETOD

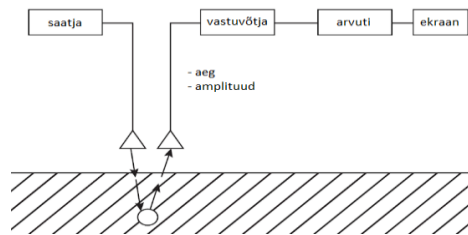
2.1 Georadari tehnoloogiast

Georadar on geofüüsikaline professionaalne seade millega saab tuvastada maa-alust tehnovõrke olenemata materjalist (metall, plastik, keraamiline, puit jms), kui selle materjal erineb piisavalt teda ümbritseva pinnase koostisest.

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.

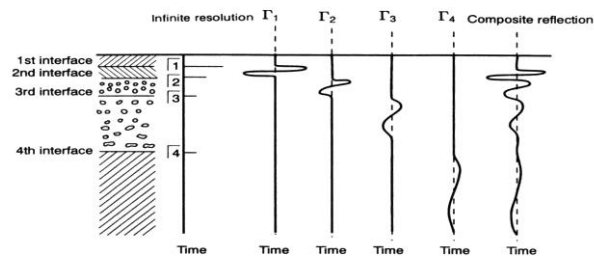
Georadar mõõdab, kui palju aega kulub impulsil saatja antennist jõudmiseks sihtmärgini ning sealt tagasi peegeldumiseks vastuvõtja antennini. Teades, milline on pinnase suhteline dielektriline läbitavus ning kui palju kulus impulsil aega sihtmärgini ja tagasi jõudmiseks, saab arvutada välja sihtmärgi kauguse (sügavuse) georadarist.

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 kulus tal pinnase läbimiseks.



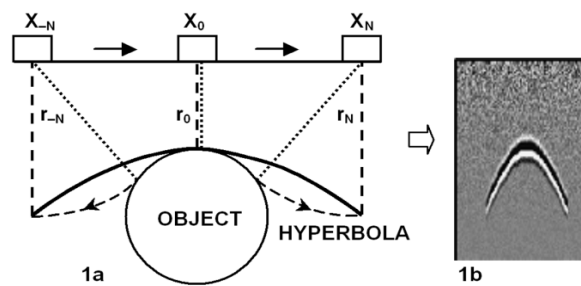
Georadari tööpõhimõte

Selleks, et saada infot erinevatel sügavusel olevatest objektidest, kogub georadar ühes punktis järjest mitusada näitu elektromagnetlainete tagasipeegelduste kohta. 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 tagasi peegeldunud laine amplituuti ja polaarsust. Käesolevas uuringus koguti näite ja loodi nendest A-skaneeringuid iga 5 cm tagant.



A-skaneering (D. J. Daniels, 2004¹)

Georadari liikumisel maapinnal ja A-skaneeringuid teineteise kõrvale seades saadakse elektriväljade maatriks ehk B-skaneering. B-skaneeringu järgi saab täpselt tuvastada ja positsioneerida sihtmärke. See on üks oluline meetod, kui soovatakse 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.

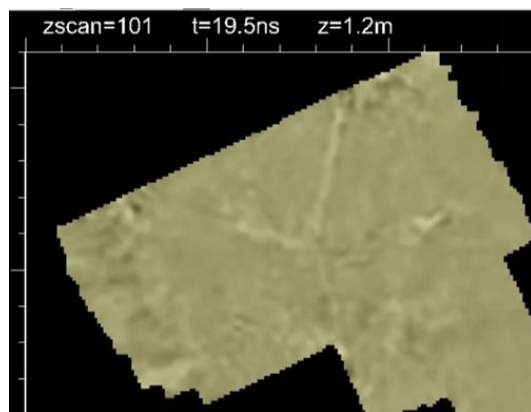


B-skaneering (Ristic, 2009²)

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

¹ Ground Penetrating Radar, David J. Daniels 2004

² GPR applied to the detection and localization of utilities in urban areas, Aleksandar Ristić 2009



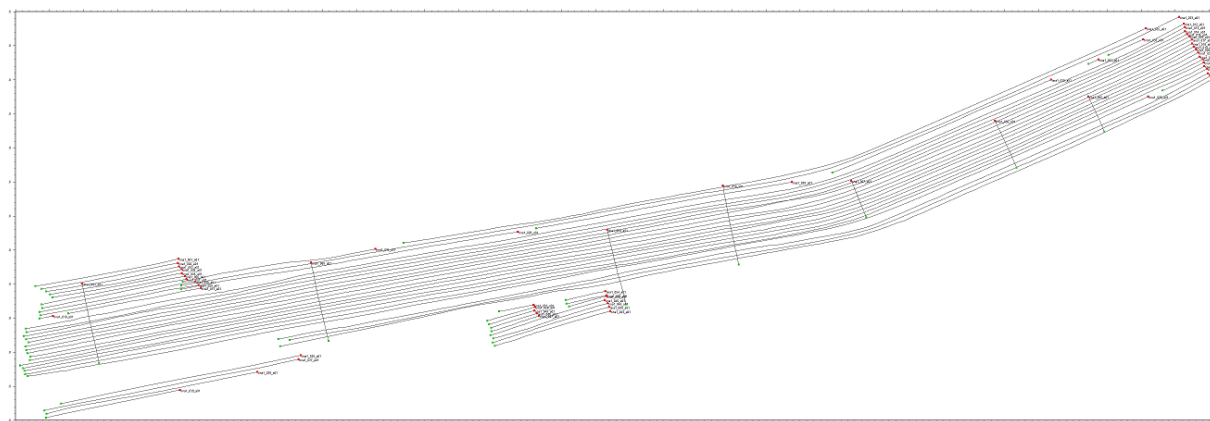
C-skaneering (time slice)

2.2 Georadariga andmete kogumine Tina tn-l

Andmehõive teostati kahel päeval 28.07 2020 ja 02.08.2020.

Esimene andmehõive päev oli 28.07.2020. Alustati hommikul kl 9:00. Öösel oli sadanud vihma ja kõikjal olid poriloigud. Alustati lõigust Vase – Vilmsi (Lõik 1), kuna lõigus Kreutzwaldi – Vase (Lõik 2) olid sõidutee ääred parkivaid autosid täis. Eelnevalt oli tellitud liikluskorraldus, paigaldatud, parkimist keelavad märgid, teavitatud elanikke, jne. Sellele vaatamata eirasid paljud autojuhid neid ja ei olnud autosid uuringualalt ära viinud.

Vase – Vilmsi lõigus parkivate autodega probleemi ei olnud. Selle lõigu skaneerimise ajal vihma ei sadanud ja see lõik sai lõunaks skaneeritud. Samal ajal tegelesid mitu MUPO ekipaaži Kreutzwaldi – Vase lõigus parkivate autodega. Lõunaks, kui Vase – Vilmsi lõigu skaneerimine oli lõpetanud ja MUPO oli lõigus Kreutzwaldi – Vase kõik autod ära saanud, hakkas tugevat paduvihma sadama. See sadu kestis ca pool tundi ja jättis sõiduteele suured lombid.

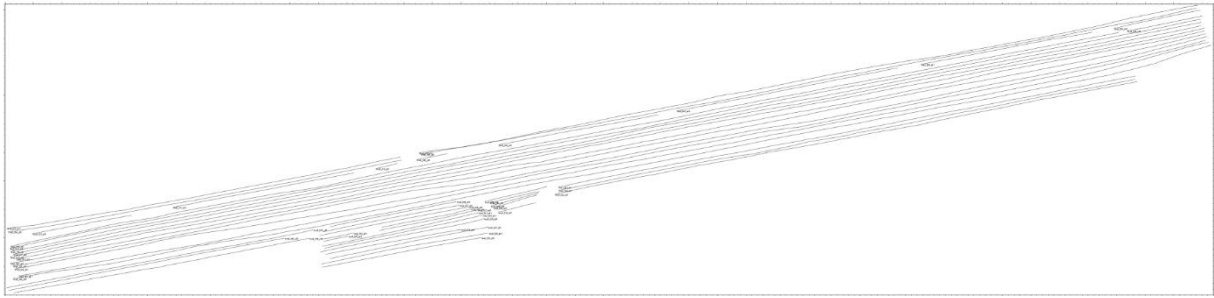


Lõik 1 skaneerimisliinid

Peale vihma hakati lõiku 2 siiski skaneerima, kuna kõik parkivad autod olid ära saadud ja MUPO hoidis sellel päeval tänava vabana. Kui ühe poole kõnnitee ja sõidutee oli skaneeritud, hakkas taas paduvihma sadama. Peale seda vihmahoogu skaneeriti veel üks parkimisala, mille MUPO oli autodest tühjaks tehtud. Rohkem sellel päeval ei skaneeritud.

Andmehõivega lõigus 2 jätkati 02.08.2020 õhtul kell 22:00. Mitu päeva ei olnud vihma sadanud ja poriloigud olid ära kuivanud. Sõidutee ääred olid parkivaid autosid täis. Skaneeriti teise poole

kõnnitee, mis esimesel andmehõive päeval jäi skaneerimata. Lisaks skaneeriti veelkord sõidutee keskosa, kus ei olnud parkivaid autosid.



Lõik 2 kõik skaneerimisliinid

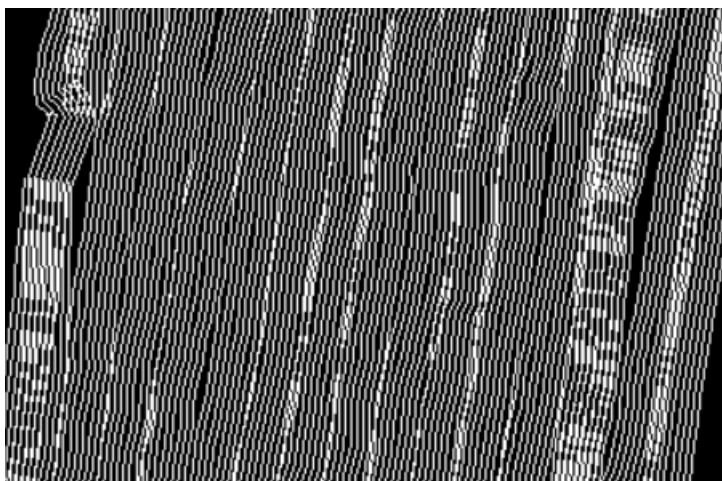
Vastavalt uuringu lähteülesandele tuli georadari uuring teostada kogu tee laiuses nii sõiduteel kui ka kõnniteel. Kuna tegemist oli kitsaste kõnniteedega ning ebatasase sõiduteega, siis otsustati andmehõive teostada käsitsi lükatava seadmega. Sellega oli võimalik piisavalt hästi manööverdada ning selle kasutamine häiris võimalikult vähe jalakäijaid.

Andmete kogumiseks kasutati kõrgresolutsioonilist antennimassiiviga 3D georadarit Raptor (ImpulseRadar AB). Antennid olid kesksagedusega 450 MHz. Sellel georadaril kasutati antennimassiivi, mis koosnes viiest saatjast ja neljast vastuvõtjast, moodustades kokku kaheksa kanalit vahega 8 cm.



Raptor

Raptor põhineb uusimal reaajalise diskreetimise (Real-Time Sampling, RTS) tehnoloogial. RTS-põhised GPR-antennid on võrreldes tavapäraste lahendustega suurema dünaamilise ulatuse, tundlikkuse ja läbistussügavusega. Lisaks võimaldab see andmete ülikiiret (üle 130 km/h) kogumist. Raptoriga andmete kogumisel profiilide vahe ainult 8 cm, mis võimaldab andmeid koguda ühes suunas paanidena.



Paanid, mis igaüks koosneb 8 profiilist

Kuna positsioneerimine toimus andmehõive ajal tahhümeetriga, siis skaneeriti kõik paanid ainult ühes suunas.

2.3 Positsioneerimine

Selleks, et siduda iga georadari poolt mõõdistatud punkt asukohaga, on vajalik andmehõive ajal georadari reaajas täpne positsioneerimine.

Parimaks georadari positsioneerimise meetodiks on RTK GNSS. See tagab georadarile piisava liikumisvabaduse ning täpsed andmed ilma viivitusega. Linnakeskkonnas üldjuhul ei ole positsioneerimine RTK GNSS-ga aga võimalik, kuna ümbritsevad hooned ja kõrghaljastus varjavad satelliitide nähtavust.

Antud projekti raames otsustati teostada positsioneerimist tahhümeetriga. Kasutati Leica tahhümeetrit, prisma ja väliarvutit. Väliarvutist saadeti positsioneerimisandmed pideva andmevoona Talon tarkvarasse, kus see pandi kokku georadari andmetega.



Positsioneerimine tahhümeetriga

Iga lõigu skaneerimiseks tõsteti tahhomeeter uude asukohta, et oleks silmside tahhümeetri ja prisma vahel terve lõigu ulatuses.

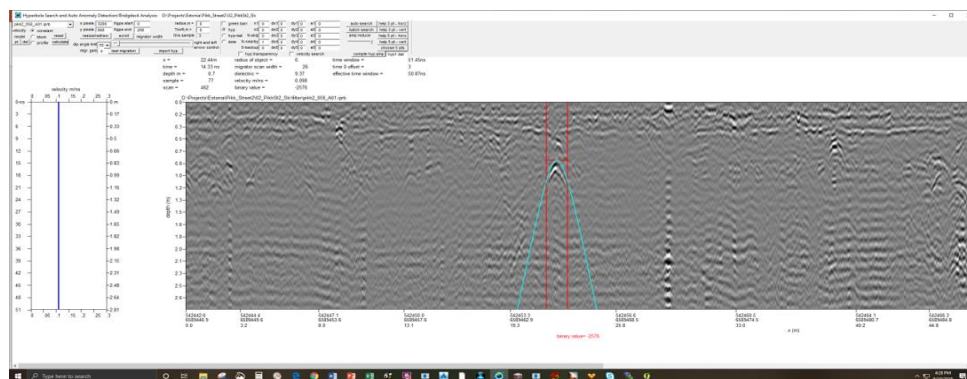
Tahhümeeter ei suuda edastada georadarile andmeid sellise täpsusega nagu RTK GNSS. Tahhümeetril kulub aega prisma asukoha määramiseks, arvutusteks ning andmete edastamiseks. See võib tekitada olenevalt seadmest kuni 0,3 sekundilise viite, mis tähendab, et georadari tegelik asukoht on selle aja jooksul juba natuke kaugemale jõudnud. See on üks põhjus, miks ei saanud antud uuringu raames skaneerida edasi-tagasi meetodil, see oleks tekitanud kõrvuti asuvatel paanidel kuni 0,6 sekundilise nihke.

Käesolev uuring viidi läbi tänaval, mis oli amortiseerunud. Amortiseerunud teede skaneerimisel esineb palju teepinna ebatasasusi. Sageli on teed keskosas oluliselt kõrgemad, kui äärtes. Samuti esineb sõiduradades „rööpaid“. Sellepärast võib georadari küljes olev tahhümeetri prisma olla maapinna suhtes nurga all. See tähendab, et tahhümeeter mõõdab prisma asukohta ebatäpselt. Erinevalt kaasaegsetest RTK GNSS-st, ei ole meie teada olemas prismat ja tahhümeetrit, mis korrigeeriks positsioneerimise andmeid vastavalt kaldenurgale. Kuna skaneeriti ühes suunas, siis hoiti ära võimaliku mõõtmisvea kahekordistumine.

2.4 Andmete järeltöötlus

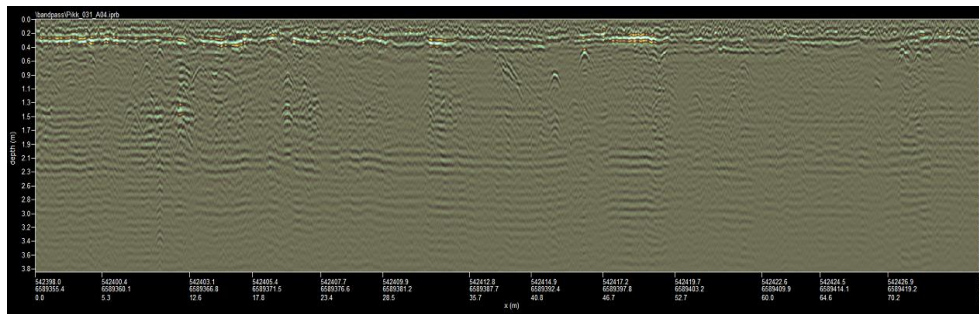
Andmete järeltöötamiseks kasutati spetsiaaltarkvara **GPR Slice**. See on suurte võimalustega ekspertidele mõeldud tarkvara, mis on kasutusel väga pajudes ülikoolides ja teadusasutustes üle maailma. See tarkvara võimaldab teha väga erinevaid andmete töötusi ning saada uuringualast erinevaid vaateid.

Andmehõive oli teostatud kahes lõigus ning vastavalt sellele teostati kahes lõigus ka andmete töötlus ja interpreteerimine. Lõiku 2 töödeldi kahes eraldi osas, kuna andmehõive toimus kahel päeval, mil maapinna niiskustase erines. Andmete töötamise käigus toimus toorandmete ülevaatus ja parandamine ning signaalitöötlus. Kuna erinevates kohtades oli pinnas väga erinev ja see mõjus radari lainetele erinevalt, siis tuli teha palju erinevaid töötusi. Andmed töödeldi üle vastavalt sellele, millises kohas ja millist maa-alust tehnovõrku tuvastati ja interpreteeriti.



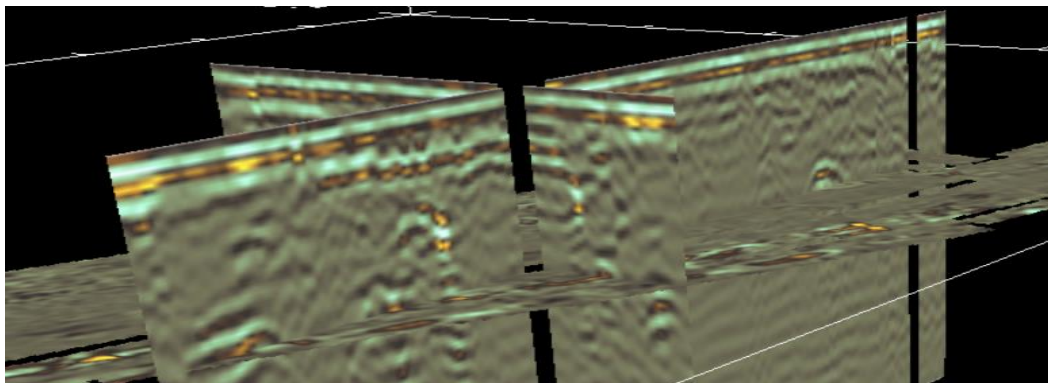
Georadari laine kiiruse määramine GPR Slice-s

Töödeldud andmetest loodi 2D radargrammid. Iga skaneeritud profiilist saadi üks radargramm.



Radargramm

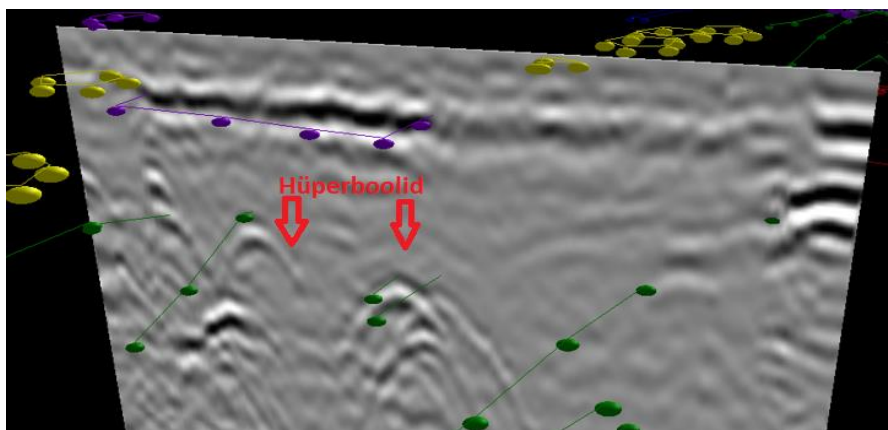
Lisaks radargrammidele loodi Open GL vahenditega 3D mahud, mis võimaldavad kogu uuringuala ulatuses teha lõikeid nii x, y kui ka z suunas.



X, Y ja Z lõiked 3D vaates

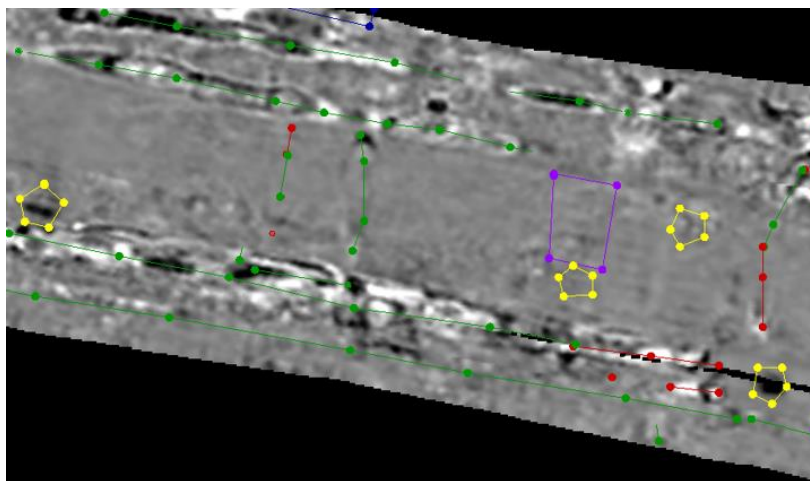
Interpreteerimise käigus toimus võimalike objektide otsimine, tuvastamine ja vektoriseerimine. Selleks, et objekte leida ja vektoriseerida, kasutati erinevaid vaateid ning erinevaid meetodeid.

Objektide otsimisel vertikaallõigetel, tuvastatakse objektid hüperbooli, pideva joone, vms järgi.



Vertikaallõige

Objektide otsimisel horisontaalse lõike järgi, tuvastatakse kõik lineaarsed objektid joone järgi ning muud objektid objekti kuju järgi.



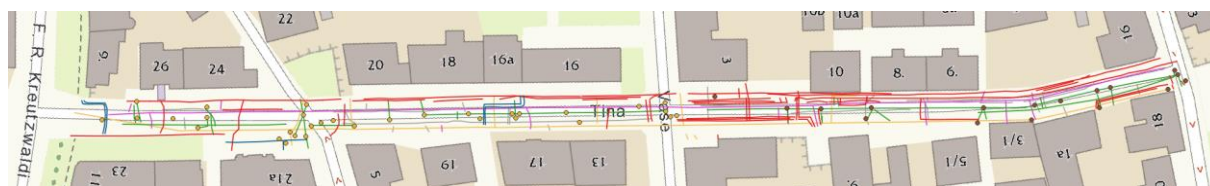
Horisontaallõige

Suurimat probleemi tehnovõrkude tuvastamisel ja interpreteerimisel tekitasid teede ristumiskohad. Teede ristumiskohad on ka erisuunaliste maa-aluste tehnovõrkude ristumiskohtadeks. Sellistes kohtades on tavaliselt palju erinevaid, erisuunalisi ning üksteise peal erinevatel sügavusel olevaid tehnovõrke. Samuti on seal sageli palju tehnovõrkude kaeve, mis peegeldavad georadari laineid. Sellest tulenevalt on kõik ristmikud väga keerulised georadari andmete töötlemiseks ja interpreteerimiseks.

3. UURINGU TULEMUS

Teede all olev pinnas on praktiliselt alati ebaühtlane. Eriti ebaühtlase pinnasega on vanad teed nagu Tina tn. Sellest tulenevalt saab ka georadar maa seest väga erineva amplituudiga signaale ja suudab „näha“ mõnes kohas paremini, mõnes halvemini. Maa-aluste tehnovõrkude tuvastamiseks erinevates kohtades tehti erinevaid georadari andmete töötlust, aga sellele vaatamata jäi kohti, kus tehnovõrkusid ei olnud selgelt näha.

Uuringu tulemusena vektoriseeriti kõik maa-alused tehnovõrgud mida suudeti tuvastada. Kuna tegemist on ainult georadari uuringuga ning ei ole kasutatud teisi seadmeid ega meetodikaid, siis on uuringu alas maa sees kindlasti veel selliseid tehnovõrke või objekte, mida georadar ei tuvastanud.



Tuvastatud ja vektoriseeritud tehnovõrgud

Selleks, et interpreteerimise ajal oleks aru saada millise tehnovõrguga on tegemist, kasutati lisainfona Maa-ameti kitsenduste kaarti. See annab ülevaate uuringualas olevatest võimalikest tehnovõrkudest. Paraku on need andmed aga ebatäpsed ja puudulikud. Kuna vektoriseeritud tehnovõrkude juurde märgiti tehnovõrgu nimi mis saadi sellelt kaardilt, siis ei tarvitse need nimetused olla täpsed.

Tuvastatud ja vektoriseeritud maa-alused tehnovõrgud eksporditi tüüpide kaupa ning anti tellijale üle dxf ja shp formaadis, mis võimaldab neid lisada maa-aluste tehnovõrkude uuringule nii CAD kui ka GIS tarkvarades.

Uuringu tulemusena anti tellijale üle lisaks töödeldud andmetele ka georadariga kogutud toorandmed. Toorandmetest saab tulevikus vajadusel teha veel lisatöötusi vastavalt sellele, millist infot soovitakse maa seest saada. Olenevalt kohast ulatuvad toorandmed kuni 3 meetri sügavusele maapinnast. 3D georadariga Raptor kogutud toorandmeid saab töödelda ja visualiseerida kolme erineva tarkvaraga:

- Condor - <https://impulseradargpr.com/condor/>
- GPR Slice - <https://www.gpr-survey.com/>
- Geolitix - <https://geolitix.com/>

4. TEHNOLOOGILISED PIIRANGUD

Antud uuringu käigus kasutati ainult georadarit. Elektromagnetilist lokaatorit (EML) ega muid tehnilisi vahendeid ei kasutatud, samuti ei teostatud kaevude uuringut ega muid välimõõtmisi (need tööd teostatakse eraldi ning neid andmeid georadari uuringu läbiviimise käigus ei olnud võimalik veel kasutada). Kuna georadar on geofüüsikaline seade, mis kogub infot tagasipeegelduste kaudu maapinnast ja maapinnas on heterogeene, siis ei ole ainult georadariga objektide 100%-le tuvastamine üldiselt võimalik.

Georadar sageli ei suuda tuvastada maa-aluseid objekte, mille läbimõõt on alla 10% selle sügavusest. Seetõttu ei pruukinud georadar uuringu käigus tuvastada sügaval olevaid väikese läbimõõduga torusid või kaableid. Kuna 450MHz antennide lainepikkus on piisavalt lai (olenevalt pinnasest 15 – 30 cm), siis on raske vahet teha tihedalt asetsevate kaablite või torude vahel ning need võivad paista ühe objektina.

Georadariga saab kaardistada maa-alust tehnovõrgu asukohta ja sügavust, aga ei saa täpselt tuvastada, millise tehnovõrguga on tegemist. Samuti ei ole võimalik tuvastada georadariga piisavalt täpselt maa-aluse tehnovõrgu suurust ja läbimõõtu.

Maapinnatingimused, nagu märg savi, raudbetoon, kloriidirikas pinnas (tänavate soolamine talvel), jne, piiravad georadari signaali levikut ja vähendavad sellega objektide tuvastamisvõimalusi. Georadari toimivust piirab ka signaali hajumine heterogeensetes tingimustes. Läbikaevatud ja segatäitega pinnases võib georadar tuvastada kraavi seinu, kuid mitte selles sisalduvat toru.

Kuna georadar ei suuda tuvastada maa-aluse objekti omadusi, siis kõik tuvastatud lineaarsed objektid ei tarvitse alati olla tehnovõrgud, vaid võivad olla muud objektid (puujuured, vms).

Ülaltoodust lähtuvalt, on kindlasti uuringualal on veel maa-aluseid objekte, mida tehnoloogiliste piirangute tõttu ja pinnase heterogeensuse tõttu ei olnud võimalik tuvastada. Samuti ei ole tuvastatud objektide x, y, z asukoht absoluutse täpsusega, vaid tuleb arvestada nii positsioneerimise kui ka andmetöötamise kõrvalekalletega.