

Maatutkamittaukset Tuhalan alueella

Maanalaisten jokien esiintyminen



Tomi Herronen & Timo Saarenketo
2008

Georadarmõõtmised Tuhala piirkonnas

Maa-aluste jõgede esinemine

Tomi Herronen ja Timo Saarenketo

2008



Maatutkamittaukset Tuhalan alueella

Maanalaisten jokien esiintyminen

Georadarmõõtmised Tuhala piirkonnas

Maa-aluste jõgede esinemine

Georadarmõõtmised Tuhala piirkonnas – Maa-aluste jõgede esinemine

1. Johdanto

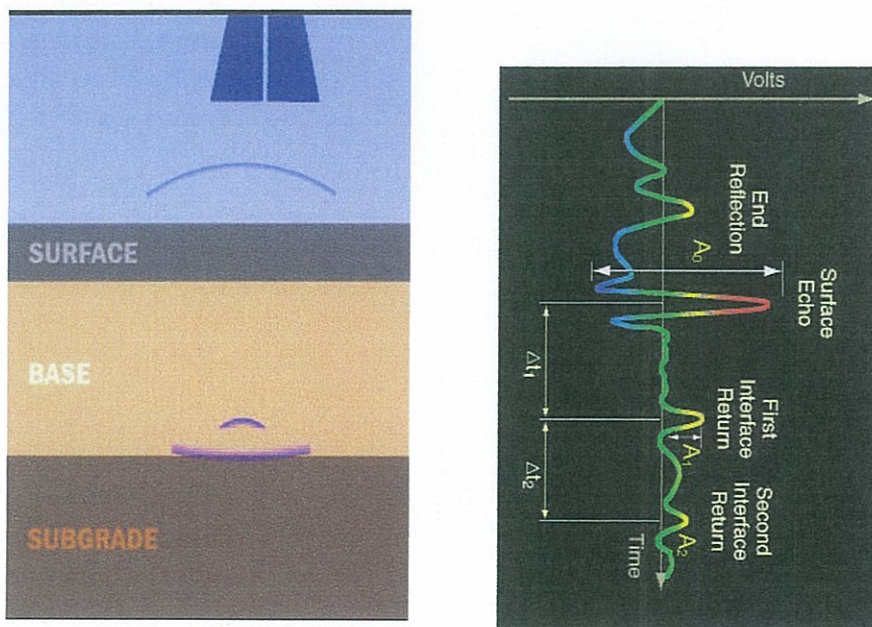
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli maatulkuustekniikkaa hyväksikäyttäen selvittää maanalaisten jokien ja onkaloiden esiintymistä ja niihin liittyvää geologista rakennetta Tuhalan alueella Virossa.

Tutkimus on tehty helmikuussa 2008 Tuhalan alueen asukkaiden ja yritysten toimeksiannosta ja Roadscanners Oy:n suuntaan yhteyshenkilönä on ollut Jaanus Saadve.

2. Käytetyt mittausmenetelmät

2.1 Maatulukan teoriaa lyhyesti

Maatulukalla lähetetään sähkömagneettista energiaa mikroaaltotaajuuksilla (50-1500 MHz) maaperään ja mitataan takaisin heijastuneen signaalin amplitudia ja kuluaikaa (kuva 1).



Kuva 1. Maatulukan toimintaperiaate ja yksittäisen pulssin mallikuva.

1. Sissejuhatus

Selle uuringu eesmärk oli georadariga mõõtmise tehnikat kasutades välja selgitada maa-aluste jõgede ja koobaste esinemine ning nendega seotud geoloogiline struktuur Eestis Tuhala piirkonnas.

Uuring tehti 2008. a veebruaris Tuhala piirkonna elanike ja ettevõtete tellimusel ning kontaktisikuks Roadscanners Oy-ga suhtlemisel oli Jaanus Saadve.

2. Kasutatud mõõtmismeetodid

2.1 Georadari teoreetiline lühikirjeldus

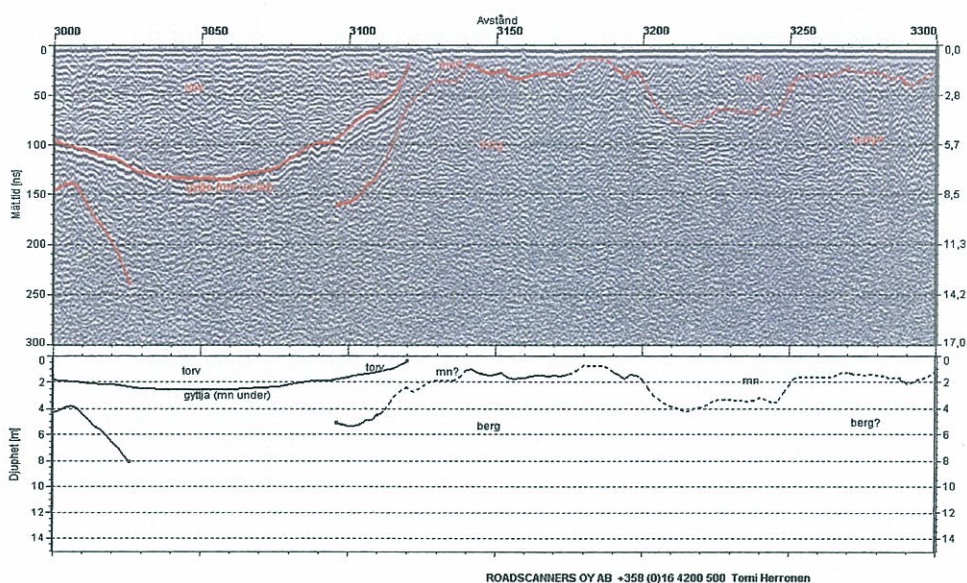
Georadariga saadetakse mikrolainesagedustel (50–1500 MHz) pinnasesse elektromagnetilist energiat ning mõõdetakse tagasipeegeldunud signaali amplituudi ja läbimisaega (joonis 1).

Joonis 1. Georadari tööpõhimõte ja üksiku impulsi mudel.

Signaali lähetetään maaperään polarisoituna pulssina maatulka-antennin kautta tietyllä keskitaajuudella. Maaperässä signaali joko vaimenee, heijastuu, tahtuu, taipuu tai sirotaan riippuen materiaalin fysikaalisista ominaisuuksista. Kun pulsseja toistetaan tiheään tahtiin antennia liikuttaen, syntyy maaperän ominaisuuksista riippuva tutkaprofiili (kuva 2). Tärkeimmät tutka-aaltoihin vaikuttavat fysikaaliset ominaisuudet ovat materiaalin dielektriset ominaisuudet ja sähkönjohtavuus.

Materiaalin dielektrisyysarvo (ϵ_r -arvo) määrittää sähkömagneettisen aallon (signaalin) kulkunopeuden. Mitä pienempi dielektrisyys sitä nopeammin SM-aalto kulkee väliaineessa. Dielektrisyiden muuttuminen eri materiaalien välillä aiheuttaa SM-aallon heijastumisen takaisin maanpintaan.

C-sektion, Örebro E18



Kuva 2. Maatulkaprofiili ja sen tulkinta. Profiilissa ylhäällä oikealla kulkuaika-asteikko nanosekunteina, alhaalla syvyysasteikko metreinä.

Väliaineen sähkönjohtavuus on signaalin vaimenemisen tärkein tekijä. Johtavat materiaalit (esim. savi) aiheuttavat nopean signaalin vaimenemisen. Myös heterogeeninen väliaine (kivikko) voi aiheuttaa signaalin sirottumista ja täten myös tallennetun signaalin vaimenemista.

Maatulka-antenni valitaan halutun tutkimussyvyyden ja tutkimustarkkuuden mukaan. Signaalin tunkeutuvuus pienenee ja tutkimustarkkuus kasvaa antennitaajuuden kasvaessa. Karkeana esimerkkinä esimerkiksi kuivalla hiekkakankaalla saadaan 50 MHz:n antennilla heijasteita yli 30 m:n syvyydeltä, kun

Signaal saadetakse teataval kesksagedusel polariseeritud impulsina georadari antenni kaudu pinnasesse. Olenevalt aine füüsikalistest omadustest signaal pinnases kas sumbub, peegeldub, murdub, paindub või hajub. Kui antenni liigutades impulsse kiires rütmis korrata, saadakse pinnase omadustest olenev radarprofiil (joonis 2). Olulisimad radarikiirgust mõjutavad füüsikalised omadused on aine dielektrilised omadused ja elektrijuhtivus.

Aine dielektriline läbitavus (Er-väärtus) määrab elektromagnetilise laine (signaali) liikumiskiiruse. Mida väiksem dielektriline läbitavus, seda kiiremini elektromagnetiline laine keskkonnas liigub. Dielektrilise läbitavuse muutumine erinevate ainete piirpinnal põhjustab elektromagnetilise laine peegeldumise tagasi maapinnale.

Joonis 2. Georadarprofiil ja selle tõlgendamine. Profiilis ülal paremal läbimisaja skaala nanosekundites, all sügavusskaala meetrites.

Kõige rohkem mõjutab signaali sumbuvus keskkonna elektrijuhtivus. Elektrit juhtivad ained (nt savi) põhjustavad signaali kiire sumbumise.

Heterogeenne keskkond (kivine pinnas) võib samuti põhjustada signaali hajumist ja seega ka salvestatud signaali sumbumist.

Georadari antenn valitakse vastavalt soovitud uurimissügavusele ja uuringu täpsusele. Kiirgussageduse kasvades signaali läbitungimissügavus väheneb ja uuringu täpsus suureneb. Nii näiteks saadakse kuival liivasel nõmmel 50 MHz antenniga peegeldusi rohkem kui 30 m sügavuselt; 800 MHz antenni sügavusulatus on samas kohas vaid umbes 1 m. Teisalt saadakse 1,5 GHz antenniga üksikasjalikke andmeid näiteks teestruktuuri pealmistest kihtidest, mis madalama sagedusega kiirgusel ei eristu.

taas samalla paikalla 800 MHz:n antennin syvyysulottuvuus on vain noin metrin luokkaa. Toisaalta 1,5 GHz:n antennilla saadaan yksityiskohtaista tietoa esimerkiksi tierakenteen ylimmistä kerroksista, jotka eivät matalampitaajuisilla antenneilla erotu.

Mittaus voidaan suorittaa joko kulkuneuvon avulla tai maastossa kävellen. Tutkapulssien tahdistus puolestaan voidaan suorittaa pulssianturin avulla tai mitaten ajan suhteen, jolloin ns. markkereita hyväksikäyttäen saadaan tieto kuljetusta matkasta. Tämä vaatii linjalle merkittyjen etäisyyksien hyväksikäyttöä. Pulssien määrä metrillä vaihtelee riippuen tutkimuksen tarkoituksesta, yleensä 5-50 pulssia/m.

Mittauksen jälkeisessä prosessoinnissa maatutka-aineistolle voidaan suorittaa erilaisia suodatuksia, leikkauksia ja vahvistuksia, joilla haluttu tieto saadaan paremmin esiin. Tulkinnessa profiililta etsitään halutut rajapinnat ja heijasteet. Lisäksi voidaan kääntää aika-asteikko syvyysasteikoksi.

Maatutkalle on useita sovellusalueita, joista mainittakoon tietutkimukset (kerrospaksuudet ja -laadut, päällystetutkimukset ja laadunvalvonnat), pohjavesitutkimukset, maaperän kartoitus (kerrospaksuudet, maalajit varauksin), kalliopinnan syvyyden ja laadun (ruhjeet) määrittelyt, yhdyskuntatekniikan kohteet (putket, kaivannot), ympäristökohteet (saastuneet maat), jäätikkötutkimukset, turvetutkimukset, arkeologiset ja sotilaalliset kohteet.

2.3 Käytetty laitteisto, mittausten suorittaminen ja aineiston käsittely

Tutkimuksessa käytettiin GSSI:n valmistamaa SIR-20 maatutkalaitteistoa ja kahta maavasteantennia, jotka olivat keskitaajuudeltaan 100 ja 270 MHz. Mittausaikana käytettiin 100 MHz:n antennilla 350 ns:a ja 270 MHz:n antennilla 250 ns:a. Laitteisto oli asennettuna autoon ja etäisyyden mittaamiseen käytettiin optista pulssianturia. Mittaustiheys oli 10 mittausta(scan)/metri. Paikannuksessa käytettiin paikallisia avustajia, maamerkkejä ja karttoja etäisyysmittauksen lisänä.

Tutkimuksen ideana oli se, että aluksi maatutkalla mitattiin referenssimittaukset Noiakaevon alueella, jossa varmasti tiedetään että siellä sijaitsee maan alla olevia onkaloita ja jokia jossa virtaa vapaata vettä. Noiakaevon tuloksia käytettiin sitten vertailutuloksina kun vastaavia geologisia rakenteita haettiin muualta Tuhalan alueella.

Aineiston prosessointiin, tulkintaan ja analyysiin käytettiin Road Doctor Pro®-ohjelmistoa. Karttojen teossa käytettiin ArcView -ohjelmistoa.

Mõõtmist saab sooritada sõiduki abil või maastikul kõndides. Radariimpulsse on võimalik sünkroniseerida impulsianduri abil või aja suhtes mõõtes; sellisel juhul saab nn markereid kasutades andmeid läbitud teepikkuse kohta. Selleks tuleb kasutada liinile märgitud vahemaid. Impulsside hulk meetri kohta on uuringu eesmärgist sõltuvalt erinev. Tavaliselt on see 5–50 impulssi/m.

Mõõtmisjärgse töötlemise käigus võib georadariga kogutud materjali filtreerida, lõigata ja võimendada, et soovitud andmeid paremini esitada. Profiili tõlgendamisel otsitakse soovitud piirpindu ja peegeldusi. Lisaks sellele saab ajaskaalat teisendada sügavusskaalaks.

Georadaril on palju rakendusalasid, millest olgu mainitud teedeuuringud (kihtide paksused ja kvaliteet, teekatteuuringud ja kvaliteedijärelevalve), põhjaveeuuringud, pinnase kaardistamine (kihtide paksused, enamik pinnaseliike), kaljupinnase sügavuse ja kvaliteedi (vajumised) määramine, asulate tehnilised objektid (torud, kaevandid), keskkonnaobjektid (saastunud mullad), liustiku-uuringud, turbauuringud, arheoloogilised ja militaarobjektid.

2.3 Kasutatud aparatuur, mõõtmised ja materjali käsitlemine

Uuringus kasutati GSSI toodetud georadaraparatuuri SIR-20 ja kaht maapinnale asetatavat antenni kesksagedusega 100 ja 270 MHz. 100 MHz antenni mõõtmisaeg oli 350 ns ja 270 MHz antenni mõõtmisaeg 250 ns. Aparatuur oli paigaldatud autosse ja kauguse mõõtmiseks kasutati optilist impulsiandurit. Mõõtmistihedus oli 10 mõõtmist (scan) meetri kohta. Positsioneerimisel kasutati lisaks kauguse mõõtmisele kohalikke abilisi, maamärke ja kaarte.

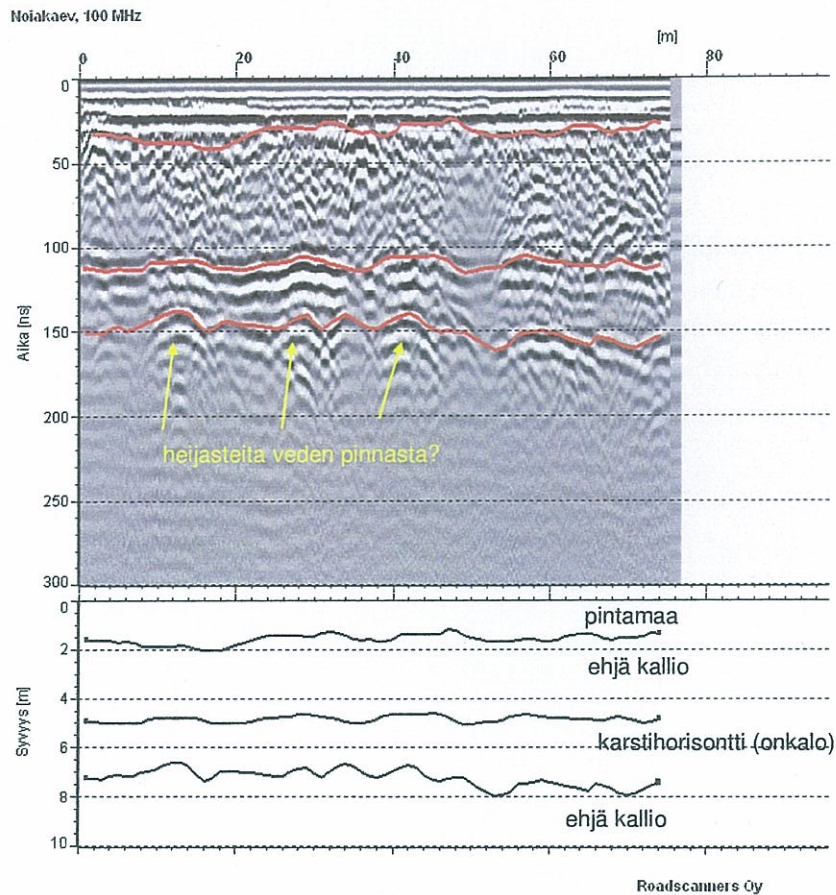
Uuring toimus põhimõttel, et kõigepealt tehti georadariga võrdlusmõõtmised Nõiakaevu piirkonnas, kus kindlasti teatakse olevat maa-aluseid koopaid ja vaba veevooluga jõgesid. Seejärel kasutati Nõiakaevu piirkonnast saadud andmeid võrdlustulemustena samasuguste geoloogiliste struktuuride otsinguil mujal Tuhala piirkonnas.

Materjali töötlemiseks, tõlgendamiseks ja analüüsimiseks kasutati programmi Road Doctor Pro[®]. Kaartide koostamisel kasutati programmi ArcView.

3. Tehdyt mittaukset

3.1 Vertailumittaukset Noiakaevon alueella

Alueen geologiaan perehtyminen aloitettiin Noiakaevon purkautuvan lähteen alueelta. Kaivon ympärillä mitattiin molemmilla antenneilla useita linjoja, joilla paikannettiin kaivolle johtavia onkaloita ja samalla saatiin arvokasta vertailutietoa maatutkan toimivuudesta; sopivista antenneista ja asetuksista. Esimerkkikuvassa (kuva 3) on 100 MHz:n antennin profiilia Noiakaevon läheisyydestä.



Kuva 3. Maatutkaprofiili ja tulkinta Noiakaevon läheisyydestä.

3.2 Muut mittaukset

Varsinaisia mittauksia Tuhalan alueella tehtiin yhteensä 9 kohteella ja niissä kerättiin yhteensä noin 15 km mittausaineistoa. Mittauskohteet oli valittu paikallisen

3. Tehtud mõõtmised

3.1 Võrdlusmõõtmised Nõiakaevu piirkonnas

Piirkonna geoloogiaga tutvumist alustati Nõiakaevu väljuva allika ümbrusest. Kaevu ümbrust mõõdeti mõlema antenniga paljudel liinidel; positsioneeriti kaevu suunas kulgevaid koopaid ja saadi samas väärtuslikke võrdlusandmeid georadari töö, sobivate antennide ja seadete kohta. Näitejoonisel (joonis 3) on 100 MHz antenniga Nõiakaevu lähedalt saadud profiil.

Noiakaev, 100 MHz	Nõiakaev, 100 MHz
Aika [ns]	Aeg [ns]
pintamaa	pealmine pinnasekiht
ehjä kallio	terve aluskivim
karstihorisontti (onkalo)	karstihorisont (koobas)
ehjä kallio	terve aluskivim
heijasteita veden pinnasta?	peegeldused veepinnalt?

Joonis 3. Georadarprofiil Nõiakaevu lähedalt ja selle tõlgendus.

3.2 Muud mõõtmised

Tegelikke mõõtmisi tehti Tuhala piirkonnas kokku üheksal objektil ja nende käigus koguti andmeid liinidelt kogupikkusega umbes 15 km. Mõõtmisobjektid valiti kohaliku asjatundja abil, et saada hea ettekujutus piirkonna geoloogiast.