

# MAATUTKALUOTAUSTUTKIMUSRAPORTTI

## Majvik, Metrolinjaus



**TJM201313/22.4.2013**

Geo-Work Oy  
[terho.makinen@geo-work.com](mailto:terho.makinen@geo-work.com)  
tel. +358 (0)50 557 9098  
Linjalantie 16, 05430 Nuppulinna

## **SISÄLLYSLUETTELO**

- 1 MAATUTKALUOTAUS: Majvik, Metrolinjaus**
- 1.1 Tehtävä**
- 1.2 Maastotyöt**
- 1.3 Mittauskalusto**
- 1.4 Tulostus**
- 1.5 Yleistä tulkinnasta**
- 1.6 Tulkinnat / Majvik, Metrolinjaus**
- 2. Maatutkaluotauksen teoriaa**
- 2.1 Teoreettiset perusteet**
- 3. Luotauslinjakartta**
- 4. Luotausprofiilit**

## **1. MAATUTKALUOTAUS: Majvik, Metrolinjaus**

### **1.1 Tehtävä**

Geo-Work Oy suoritti WSP Group Oy/ Reetta Putkosen/Sipoon kunnan/Kaisa Yli-Jaman toimeksiannosta maatulkuotauksia Majvikiin suunnitellun metroaseman kohdalla. Luotausten tarkoituksena oli selvittää erityisesti kalliopinnan syvyyttä yhdyskuntateknistä suunnittelua varten.

### **1.2 Maastotyöt**

Maastotyöt paikalla suoritettiin 5.4.2013. Linjat oli merkitty paaluilla maastoon Finnmap Oyn toimesta. Linjojen yhteispituus oli 130 m.

### **1.3 Mittauskalusto**

Mittauskalustona oli amerikkalaisen Geophysical Survey System Inc:n (GSSI) valmistama SIR-3000 maatulku. Antennina käytettiin GSSI:n 100 MHz:n antennia. Tutkaa käytettiin ns. rinkkatutkana, joten luotaukset tehtiin kävellen.

### **1.4 Tulostus**

CF-levykkeelle taltioitu tutkatulos siirretään tietokoneelle tulostusta ja tulkintaa varten. Tulkinta ja tulostus tapahtuu jälkikäsiteltyinä GeoDoctor –signaalinkäsittelyohjelmalla.

Profiilikuvat on tulostettu 1:200/1:300 (16m/75m) pysty- ja vaakamittakaavassa. Maatulkuaprofiilit ovat aika-asteikossa.

Korot linjoille on otettu karkeasti maastokäynnin, pohjakartan ja kairauspisteiden tietojen mukaan. Tarjouksemme mukaisesti korkotietojen välitys kuuluu tilaajalle, mutta emme saaneet niitä linjoilta. Tässä kohteessa uskoisimme kuitenkin tarkkuuden olevan riittävän hyvä näillä tiedoilla.

### **1.5 Yleistä tulkinnasta**

Savi- ja silttialueilla maatulkualla saadaan selville kovan maan tai kallion reuna n. 3 - 10 m:n syvyyteen saakka. Tätä syvyyttä pienentää jonkin verran maa-aineksen johtavuus.

Moreenialueilla maapeitteen paksuuden määrittäminen onnistuu vaihtelevasti. Moreenin ja kallion rajapinnan erottaminen riippuu moreenin laadusta ja kallion pinnan rikkonaisuudesta. Mitä lohkeaisempi moreeni on rikkonaisen kallion päällä niin sitä vaike-

ampi on rajapintaa erottaa tutkaprofiilista. Ohutpeitteisillä alueilla saattaa rikkonaisen kallionpinnan tulkita moreeniksi ja päinvastoin. Lajittuneet hiekka- ja sorakerrokset erottuvat hyvin muista maakerroksista.

L

ouhinnan rajapinnan erottaminen niin pysty- kuin vaakasuunnassa riippuu luotauslinjojen sijainnista suhteessa edellisiin sekä irtilouhinnan määrästä ja täytön laadusta. Kallioraot näkyvät varsinkin kosteina usein kallion pintaa paremmin. Putki- yms. jyrkkien kanaalilouhintojen läheisyydessä on mahdollista, että sekä ylä- että alapinta näkyvät profiilikuvassa ja näissä kohdissa on riski väärän rajapinnan tulkintaan olemassa.

Rakennekerrosten tulkinnassa maa-aineksen sähkönjohtavuudesta kertovana dielektrisyysarvona on käytetty tässä kohteessa kokemukseen perustuen arvoja 12(moreeni)-16(SiSa). Varmimpana pidetyt kalliotulkinnat on merkitty tekstillä Ka, epävarmemmat Mr/Ka (rajapinta todennäköisemmin moreenia) tai Ka?(rajapinnan tulkittavuus ylittää heikko).

Tulkinnat ovat suuntaa-antavia, joskin tässä tapauksessa oli käytettävissä myös kairauksia referenssitietoina. Kalliopinnat pyritään tulkitsemaan aina ylimpään mahdolliseen rajapintaan.

## 1.6 Tulkinnat / Majvik, Metrolinjaus

Linjojen päissä kallio on hyvin lähellä pintaa, mutta keskellä syvällä, tuskin juurikaan kairauksia syvemmällä. Kairausten savi-kerros on tulkittu tässä silttiseksi saveksi, koska profiileissa on erotettavissa hienoja kerroksia, jollaisia yleensä ei paksussa savessa ole.

*Tuusulassa 22.4.2013*

*Terho Mäkinen  
Tutkimusinsinööri, Geo-Work Oy*

## 2. MAATUTKALUOTAUKSEN TEORIAA

Maatutka on radiotaajuusaluetta käyttävä sähkömagneettinen luotauslaite. Siinä lähetinantennilla lähetetään väliaineeseen sähkömagneettisia pulsseja ja vastaanotin antennilla rekisteröidään väliaineen sähköisiltä rajapinnoilta takaisinheijastuneet aallot. Luotaus voidaan tehdä joko tutkittavan väliaineen pinnalta tai väliaineen sisältä. Ensimmäinen tapa on yleisimmin käytetty ja siinä mittauslaitteiston ei tarvitse välttämättä koskettaa tutkittavaa väliainetta. Jälkimmäistä tapaa käytetään reikätkassa.

Maatutkan kehitys on seurannut läheisesti muiden tutkamenetelmien teknistä ja tulkinnallista kehitystä. Pulssitutka kehitettiin 1920-luvun lopulla, mutta vasta 1950-luvun vaihteessa tehtiin ensimmäiset onnistuneet mittaukset. 1970-luvun alussa tutkaluotaukselta sovellettiin maassa olevien kaapeleiden, putkien ja esineiden paikannukseen. Tämän jälkeen mittalaitteiden kehitys on ollut ja sovellukset ovat lisääntyneet. Tutkaa sovelletaan geologisten kohteiden lisäksi mm. tie- ja betonirakenteiden tutkimiseen, vesistöympäristö- ja arkeologisiin tutkimuksiin. Kivitutkimukset ovat maatutkan uusimpia sovelluskohteita.

### 2.1 Teoreettiset perusteet

Maatutkaluotauksen periaate on melko yksinkertainen. Tutkalaitteen antenni lähettää väliaineeseen lyhytkestoisen sähkömagneettisen pulssin radiotaajuudella. Kun pulssi kohtaa väliaineessa sähköisen rajapinnan, osa aaltoenergiasta heijastuu takaisin osan jatkaessa etenemistään. Tutka-antennilla mitataan takaisin heijastuneen aallon lähtöhetkestä paluuhetkeen kulunut aika ja amplitudi. Tutkan liikkuessa tätä toistetaan nopeassa tahdissa ja muodostettavat tulostussignaalit eli pyyhkäisyt piirretään intensiteetti-piirturilla tiheästi peräkkäin, jolloin tuloksena saadaan jatkuva profiili väliaineessa olevista sähköisistä rajapinnoista.

Sähkömagneettisen aallon käyttäytyminen väliaineessa on esitetty monissa tutkaluotaukseen liittyvissä julkaisuissa. Yleistäen voidaan todeta, että aallon etenemisnopeuteen ja heijastumiseen vaikuttavat väliaineen dielektrisyyden ja susceptibiliteetti. Väliaineen sähköjohtavuus vaikuttaa aallon vaimenemiseen ja sillä on vähäinen vaikutus heijastumiseen. Jos susceptibiliteetin ja dielektrisyyden yhteisvaikutusta kuvataan suurella  $\epsilon$ , voidaan käytännön maatutkaluotauksessa pitäytyä yksinkertaisiin kaavoihin:

Aallon etenemisnopeus	$v=c/e$	①
Rajapinnan syvyys	$s=v*t/2$	②
Heijastuskerroin	$K=(e_2-e_1)/(e_2+e_1)$	③
Läpäisykerroin	$R=1-K$	④
Vaimeneminen väliaineessa	$A=1635 * //e$	⑤
Aallonpituus	$l=1000*c/(f*/e)$	⑥

joissa  $c$ =valon nopeus tyhjiössä (0,3 m/ns)  
 $e$ = aallon etenemisnopeuteen vaikuttava suure  
 $t$ = kuluaika väliaineessa ( $n_s=10E-9$  s)  
 $A$ = vaimeneminen väliaineessa (dB)  
 $=$  väliaineen sähkönjohtavuus (S/m)  
 $f$ = taajuus (MHz)

Aallonpituus vaikuttaa ohuiden kerrosten erotuskykyyn. Maatutka-  
luotauksessa lähetetään puolitoista jaksoa sinimuotoista pulssia.  
Korkeataajuisilla antennilla, 500 MHz:stä alkaen, saadaan hyvä  
ohuiden kerrosten erottelukyky. Toisaalta syvyysulottuvuus piene-  
nee myös merkittävästi. Matalataajuisilla antennilla erottelukyky  
on karkeampi, mutta syvyysulottuvuus on huomattavasti parempi  
kuin korkeataajuisilla antennilla.

Jos oletetaan väliaineen magnetoitumiskyky eli susceptibiliteetti  
pieneksi, eli väliaineessa ei ole magnetoituvia ainesosia, em. kaavat  
1-4 riippuvat pelkästään dielektrisyydestä. Kuivien aineiden dielekt-  
risyys on noin 4. Ilman dielektrisyyys on 1 ja veden 81. Veden ja il-  
man määrän vaihtelu huokoisessa väliaineessa vaikuttavat ratkai-  
sevasti sähkömagneettisen aallon etenemisnopeuteen ja rajapin-  
nalla tapahtuvaan aallon heijastumiseen.

Sähkömagneettisen aallon vaimeneminen väliaineessa on suoraan  
verrannollinen väliaineen sähkönjohtavuuteen. Jokaisella sähköisel-  
lä rajapinnalla tapahtuu sen luonteesta riippuva jakautuminen hei-  
jastuvan ja läpäisevän aallon osiin. Lisäksi aalto edetessään leviää  
suuremmalle alalle, joten energia pinta-alayksikköä kohden piene-  
nee.

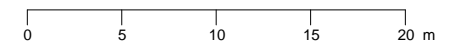
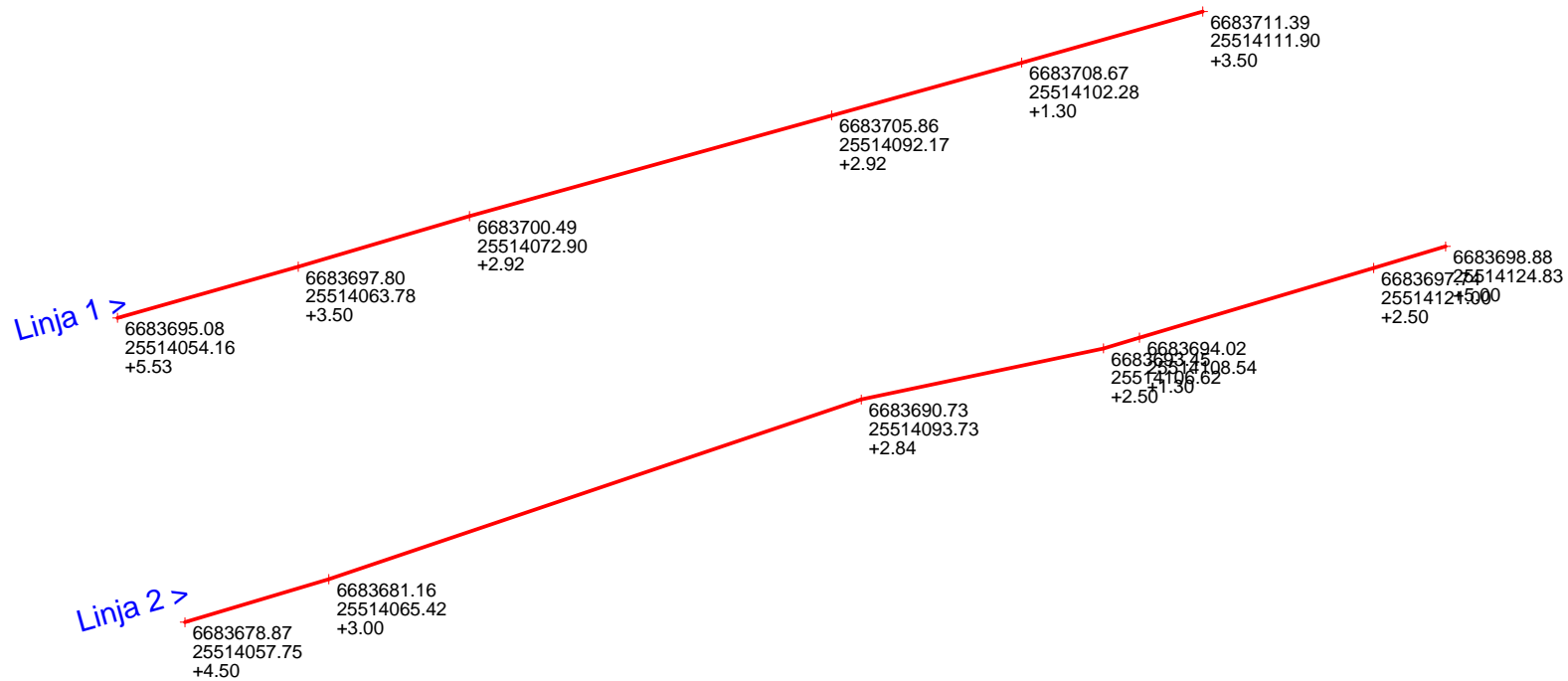
Sähköä hyvin johtavissa väliaineissa (johtavuus yli 10nS/m) on  
vaimeneminen väliaineessa merkittävää. Jos väliaineen johtavuus  
on pieni, mutta sähköisiä rajapintoja on runsaasti, vähentävät mo-  
ninkertaiset heijastukset maatutkauksen tunkeutumissyvyyttä. Kun  
johtavuus on pieni ja heijastavia rajapintoja vähän (esim. ehjä kal-


lio), aalto vaimenee antennin ja heijastavan rajapinnan etäisyyden funktiona. Sähkömagneettinen aalto heijastuu ja läpäisee jokaisen rajapinnan myös ylöspäin saapuessaan.

Koska antennien keilakulma on  $n = 45^\circ$ , antenni rekisteröi linjalla olevat heijastavat kappaleet ennen ja jälkeen niiden todellista paikkaa ja havaitsee myös sivulla olevat kohteet. Suoraan mittauslinjalla oleva aallonpituuteen nähden suuri kappale vaikuttaa alla olevien rajapintojen muotoon. Esimerkiksi järven pohjalla oleva kivi aiheuttaa tutkakuvassa järven pohjan "hyppäämisen ylös". Mittauslinjan sivulla oleva heijastava kohde näkyy tutkaprofiilissa yhdessä antennin alta saapuvien heijastuksien kanssa. Useimmiten sivuheijasteiden merkitys on mitätön.

Jos välikerros on paksuudeltaan alle puolitoista aallonpituutta, vaikuttavat peräkkäiset heijastukset toisiinsa. Heijastuksen taajuus muuttuu ja peräkkäiset heijastukset saattavat vaimentaa toisensa. Ilmiö riippuu sähkömagneettisen aallon rajapintojen välissä kuluttamasta ajasta sekä rajapinnoilla tapahtuvasta vaihekulmien muutoksista.

Kohdatessaan sähköisen rajapinnan korkeataajuinen sähkömagneettinen aalto taittuu ja heijastuu optiikan lakien mukaan. Koska aaltoa heijastavalla pinnalla täytyy olla myös tietty laajuus (pinta-ala), maatutkalla ei voida havaita pystyjä tai lähes pystyjä kapeita rakenteita, jos mittaus tehdään väliaineen pinnalta. Tämä koskee kuitenkin lähinnä tavanomaista maatutkaluotausta, jolloin mittaus tapahtuu tasolta ja lisäksi mittausnopeus on hyvin suuri pystyrakenteen kokoon nähden.



 <a href="http://www.geo-work.com">www.geo-work.com</a>	Projekti	Mittakaava 1:400	Tekijä TM
	Majvikin metroasema	Päiväys 22.4.2013	
	Sipoo	Asiakas	
	Maatutkalinjat	Sipoo	



