

# MAATUTKALUOTAUSTUTKIMUSRAPORTTI

Lehtivuori, Lempäälä

2023\_071021\_päivitetty / 29.8.2023

**SUOMEN  
MAATUTKA  
PALVELU**

[terho.makinen@maatutkalla.fi](mailto:terho.makinen@maatutkalla.fi)

tel. +358 (0)50 557 9098

Vihtapolku 4A, 04400 Järvenpää

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. MAATUTKALUOTAUS: Lehtivuori, Lempäälä</b>	3
<b>1.1 Tehtävä</b>	3
<b>1.2 Maastotyöt</b>	3
<b>1.3 Mittauskalusto</b>	3
<b>1.4 Tulostus</b>	3
<b>1.5 Yleistä tutkakuvien tulkinnasta</b>	3
<b>1.6 Tulkintatulokset: Lehtivuori, Lempäälä</b>	4
<b>2. MAATUTKALUOTAUKSEN TEORIAA</b>	5
<b>2.1 Teoreettiset perusteet</b>	5
<b>3. LINJAKARTAT ja LUOTAUSPROFIILIT</b>	9

## **1. MAATUTKALUOTAUS: Lehtivuori, Lempäälä**

### **1.1 Tehtävä**

Suomen Maatutkapalvelu Oy suoritti Lempäälän kunnan Joonas Junnon tilauksesta maatutkaluotauksia ja niihin liittyviä paikannusmittauksia paikassa Lehtivuori, Lempäälä. Maatutkaluotausten tarkoituksena oli mahdollisuuksien mukaan paikantaa pintaa rikkomattomin menetelmin maatutkalla maa-aineksen laatua ja kalliopinnan syvyyttä.

### **1.2 Maastotyöt**

Maastotöitä suoritettiin alueella 6.3.2022. Alueen tutkimuksista koostettiin 2 linjaa (yhteensä 2254m), jotka luodattiin ja tulostettiin tähän raporttiin. Erilliset linjat on numeroitu liitekarttojen mukaisesti.

Linjat pyrittiin sijoittamaan maastossa tilaajan linjasuunnitelman mukaisesti. Paikoin suunnitelluilta linjoilta jouduttiin poikkeamaan isojen maakivien ja lohcareiden takia. Linjojen sijainti kuitenkin kartoitettiin todelliselta, toteutuneelta tutkimuslinjalta.

### **1.3 Mittauskalusto**

Mittauskalustona oli amerikkalaisen Geophysical Survey System Inc:n (GSSI) valmistama SIR-3000 maatutka. Antennina käytettiin GSSI:n 400 MHz:n antennia riittävän syvyyssulottuvuuden takaamiseksi. Tutka oli sijoitettu tarkoitusta varten valmistettuun kärryyn ja luotaukset voitiin tehdä kävellen käytännössä jälkiä jättämättä. Syvyyssulottuvuus määriteltiin n. viiteen metriin, lopullinen todellinen ulottuvuus on aina riippuvainen maaperän aineksesta ja kosteuspitoisuudesta.

### **1.4 Tulostus**

CF-levykkeelle taltioitu tutkatulos siirretään tutkalta tietokoneelle tulostusta ja tulkintaa varten. Tulkinta ja tulostus tapahtuu jälkikäsitteilynä GeoDoctor-signaalinkäsittelyohjelmalla. Kuville on mahdollista tehdä monenlaisia käsittelyjä, tähän raporttiin tulostetut profiilikuvaversiot ovat vain yksi esimerkki.

Leikkauskuvat on tulostettu 16m pystymittakaavoissa, 500m vaakakuvinä sekä koko pituudeltaan. Maatutkaprofiilit ovat aika-asteikossa.

Linjakartat on liitetty raporttiin tekstiosuuden jälkeen. Tulkintakuvan suunta on merkitty karttojen linjoihin. Linjoille on tulostettu tulkittujen kohteiden korkeusasema paikantamista helpottamaan. Linjoilta tulostettiin raportin loppuun PDF- profiilikuvat sekä sähköinen DWG-kuva.

### **1.5 Yleistä tutkakuvien tulkinnasta**

Lajittuneet hiekkakerrokset erottuvat tutkakuvassa muista maakerroksista. Saviset alueet kuvautuvat tyypillisesti rakenteettomina. Kallio-perä voi laadustaan riippuen kuvautua myös aika rakenteettomana tai sitten hyvin ilmeikkäänä. Kallioisilla alueilla kallioraot näkyvät varsinkin kosteina usein kallion pintaa paremmin.

Tulkinnan tarkkuus on tällaisessa kohteessa parhaimmillaan n. 10 % luokkaa syvyysjainnissa, riippuen mm. maamassan kosteusvaihte-  
lusta ja kohdeheijasteen vahvuudesta. Pällekkäiset rakenteet heiken-  
tävät alimmaisten kohteiden tulkittavuutta. Profiilikuvat on tulostettu  
tässä kohteessa topografiassa.

Maatutkaluotaus on pintaa ja ainetta rikkomaton geofysikaalinen tut-  
kimusmenetelmä, jonka tulos perustuu kuvan tulkintaan. Tämän takia  
tulos on aina suuntaa antava ja tulosten tarkkuus esimerkiksi yksit-  
täisten kohteiden tai kalliopinnan syvyyden määrittämisessä saattaa  
vaihdella maaperän laadun ja kosteuden vuoksi.

Ylimpänä profiilikuvissa on kuvattu **mustalla** maanpinta, sen alla tul-  
kitut moreeni/kalliopinnat on kuvattu **punaisella**.

Jälkeenpäin voidaan tulkintoja tarkentaa mahdollisten kairaustulosten  
tai koekuoppien perusteella. Suurin hyöty lisätutkimuksista saadaan,  
kun ne sijaitsevat mahdollisimman tarkoin tutkatulla linjalla ja tarkka  
toteutunut sijainti on tiedossa. Tällaisessa kohteessa lohcareiden tms  
takia kairaa ja joutuu usein siirtämään aiottua kairapisteen sijaintia.

## 1.6 Tulkintatulokset: Lehtivuori, Lempäälä

Maa-aines on tutkitulla tulevan kadun alueella lähes kauttaaltaan ki-  
vistä moreenia ja maanpinnallakin on poikkeuksellisen runsaasti, va-  
rovastikin arvioiden toista sataa yli kuution kokoista kiveä/lohkareta.  
Paikoin kalliopinnan päällä maapeite vaikuttaa ohuehkolta, mutta po-  
rakonekairauksilla voidaan toki varmistaa tällaisessa paikassa kal-  
liopinnan syvyyttä. Ehdotimmekin 28.3 raportissa kairauspisteiksi tut-  
katulkinnan kannalta kartoituspisteitä 4, 9, 20, 28, 32, 37, 42, 62, 71,  
76, 86, 97 ja 116 (tiedosto liitteenä). Nämä oli heinäkuussa toteutettu.  
Tutkauksen kannalta oli hyvä, että kairaukset sijaitsivat linjoilla.

Kairausten perusteella kalliopinta vaikuttaisi olevan alueella aika tasai-  
sesti keskimäärin 4-6 metrin syvyydellä, pari kolme metriä syvemmällä  
kuin pelkkien maatutkaluotausten perusteella varovasti tulkittuna  
näytti. Harvoilla silttisemmällä kohdilla profiili on hyvin vaaleaa ja kal-  
liopinta erottuu hyvin heikosti, esim L02 pl 200. Muutoin karkeampi  
hiekkainen ja kivinen moreeni erottuu kuvilla tummempana puuromai-  
sena rakenteena. Kalliopinnan erottaminen tarkasti näin karkeasta ja  
kivisestä moreenista on tutkitulla alueella melko hankalaa. Syvimmillä  
kohdilla (yli 6-7 metriä) linjojen alussa ja lopussa tutkaustulos ei ulotu  
kalliopinnan syvyyteen asti. Todennäköisesti järeämmälläkään anten-  
nilla ei tässä maastossa syvemmältä parempaa tulosta saavuteta.

*Ilman koekuoppia tai referenssikairauksia tulkintojen tulokset ovat  
aina suuntaa antavia. Kallio pyritään aina tulkitsemaan ylimpään mah-  
dolliseen rajapintaan, joskus tällaisessa moreeniaineksessa kallio voi  
olla oleellisestikin tulkittua alempana. Dielektrisyysarvona on tulkin-  
nassa kokemukseen perustuen käytetty lukua 12.*

Järvenpäässä 29.8.2023

Terho Mäkinen

Toimitusjohtaja, maanmittausinsinööri (AMK)

Suomen Maatutkapalvelu Oy

## 2. MAATUTKALUOTAUKSEN TEORIAA

Maatutka on radiotaajuusalueita käyttävä sähkömagneettinen luotauslaite. Siinä lähetinantennilla lähetetään väliaineeseen sähkömagneettisia pulsseja ja vastaanotinantennilla 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 reikäutuksessa.

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 tutkaluotauksia 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, vesistö- ympäristö- 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- ja amplitudipiirteillä 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 dielektrisyys 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:

$$\text{Aallon etenemisnopeus} \quad v = \frac{c}{\sqrt{e}} \quad (1)$$

$$\text{Rajapinnan syvyys} \quad s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

$$\text{Heijastuskerroin} \quad K = \frac{(\sqrt{e_2} - \sqrt{e_1})}{(\sqrt{e_2} + \sqrt{e_1})} \quad (3)$$

$$\text{Läpäisykerroin} \quad R = 1 - K \quad (4)$$

$$\text{Vaimeneminen väliaineessa} \quad A = \frac{1635 \cdot \sigma}{\sqrt{e}} \quad (5)$$

$$\text{Aallonpituus} \quad l = \frac{1000 \cdot c}{(f \cdot \sqrt{e})} \quad (6)$$

joissa

- c = valon nopeus tyhjiössä (0,3 m/ns)
- e = aallon etenemisnopeuteen vaikuttava suure
- t = kuluaika väliaineessa (ns=10<sup>-9</sup>ns)
- A = vaimeneminen väliaineessa (dB)
- σ = väliaineen sähkönjohtavuus (S/m)
- f = taajuus (MHz)

Aallonpituus vaikuttaa ohuiden kerrosten erotuskykyyn. Maatutkaluotauksessa lähetetään puolitoista jaksoa sinimuotoista pulssia. Korkeataajuisilla antennilla, 500 MHz:stä alkaen, saadaan hyvä ohuiden kerrosten erottelukyky. Toisaalta syvyysulottuvuus pienenee 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 dielektrisyyks on noin 4. Ilman dielektrisyyks on 1 ja veden 81. Veden ja ilman määrän vaihtelu huokoisessa väliaineessa vaikuttavat ratkaisevasti sähkömagneettisen aallon etenemisnopeuteen ja rajapinnalla tapahtuvaan aallon heijastumiseen.

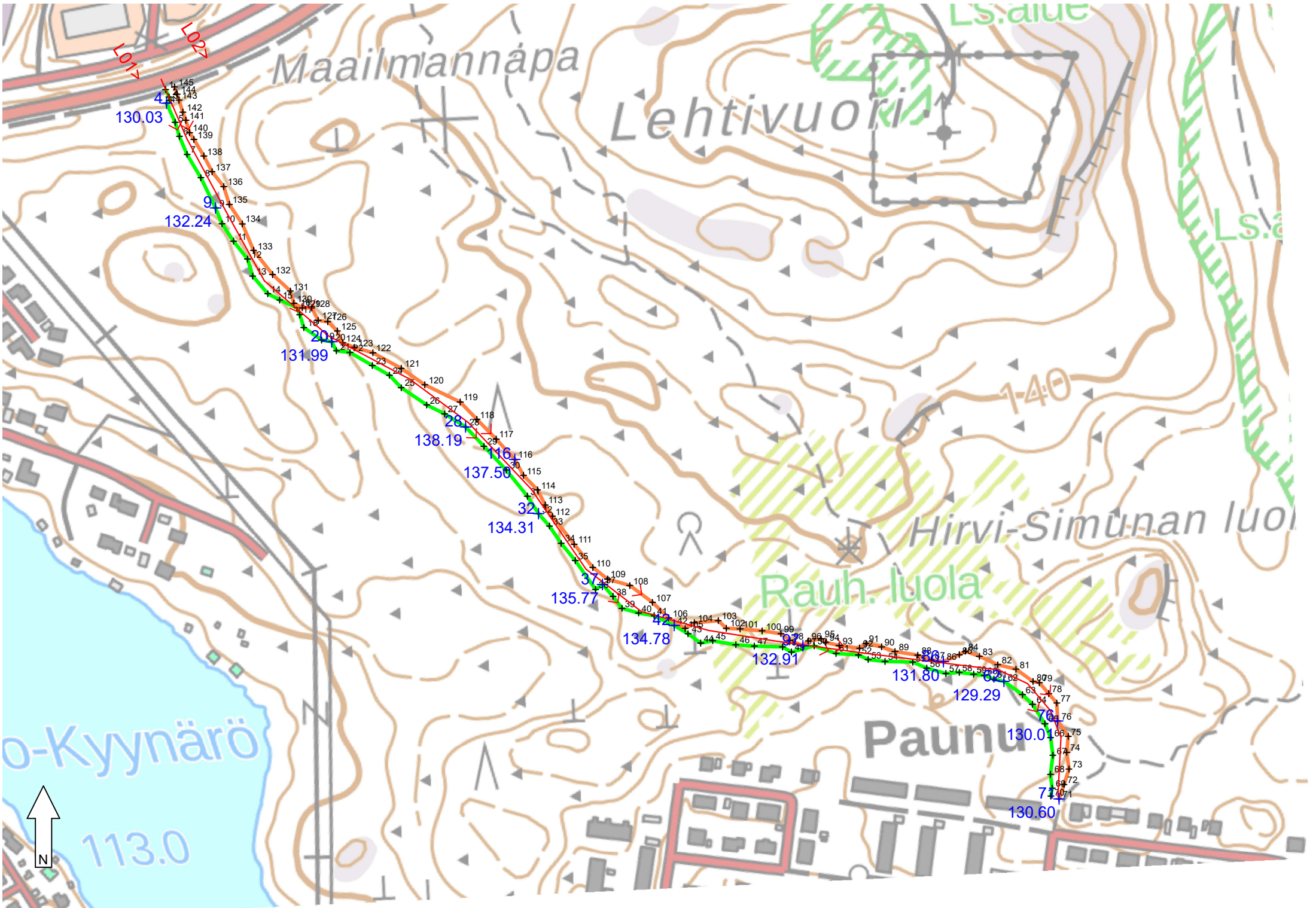
Sähkömagneettisen aallon vaimeneminen väliaineessa on suoraan verrannollinen väliaineen sähkönjohtavuuteen. Jokaisella sähköisellä rajapinnalla tapahtuu sen luonteesta riippuva jakautuminen heijastuvan ja läpäisevän aallon osiin. Lisäksi aalto edetessään leviää suuremmalle alalle, joten energia pinta-alayksikköä kohden pienenee.

Sähköä hyvin johtavissa väliaineissa (johtavuus yli 10nS/m) on vaimeneminen väliaineessa merkittävää. Jos väliaineen johtavuus on pieni, mutta sähköisiä rajapintoja on runsaasti, vähentävät moninkertaiset heijastukset maatutkauksen tunkeutumissyvyyttä. Kun johtavuus on pieni ja heijastavia rajapintoja vähän (esim. ehjä kallio), aalto vaimenee antennin ja heijastavan rajapinnan etäisyyden funktiona. Sähkömagneettinen aalto heijastuu ja läpäisee jokaisen rajapinnan myös ylöspäin saapuessaan.

Koska antennien keilakulma on  $n \approx 45^\circ$ , 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.



L01

L02

130.03

132.24

Maailmannäpa

Lehtivuori

LS.älu

LS.ä

131.99

138.19

137.50

134.31

135.77

134.78

132.91

131.80

129.29

130.0

130.60

140

Hirvi-Simunan luola

Rauh. luola

Paunu

Kyyvärö

113.0





