

ILVESVUORI, NURMIJÄRVI

REFRAKTIOSEISMINEN LUOTAUS

Helmikuu 2022



Työraportti

GRM-services Oy

Antti Kivinen

Vantaa 3.3.2022

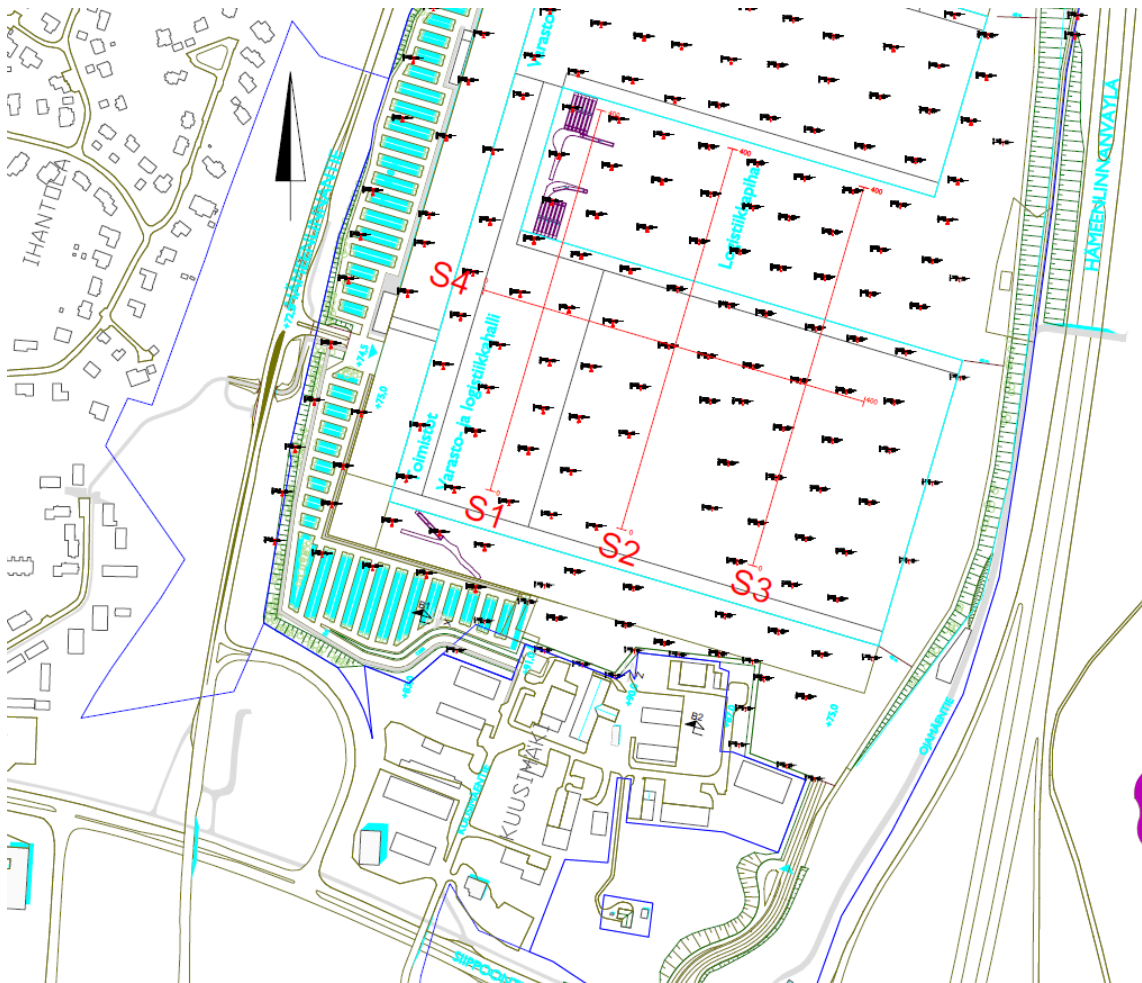
SISÄLTÖ:

1) Tehtävä	3
2) Mittauslinjat	3
3) Laitteisto	4
4) Menetelmästä ja työn erityispiirteistä	5
5) Töiden suoritus	9
6) Tulkinta	9
7) Tulokset	10
Liitteet	

1. TEHTÄVÄ

GRM-services Oy toteutti Pohjatekniikka Oy:n toimeksiantona seismisten luotausten tutkimusohjelman Nurmijärvellä, Ilvesvuoren teollisuusalueella. Tutkimusten ensisijainen tarkoitus oli selvittää tutkimusalueen maapeitteen paksuudet ja kallioperän laatua. Työ suoritettiin suunnitelluilla linjoilla, eikä linjojen sijainteja ollut tarvetta muokata suunnitelluista.

Luotaukset toteutettiin tammi-helmikuussa 2022. Seismisenä lähteenä mittauksissa käytettiin dynamiittia, joka panostettiin porakoneella tehtyyn 30 – 80 cm syvään reikään.



Kuva 1. Seismisten linjojen sijainnit.

2. MITTAUSLINJAT

Toteutettujen seismisten linjojen alku- ja loppupistekoordinaatit, linjojen pituudet sekä käytetyt geofonivälit on esitetty taulukossa 1 ja kartalla kuvassa 1.

Linjan nimi	Linjan alku- ja loppupiste	N-koordinaatti	E-koordinaatti	Linjan pituus [m]	Geofoniväli [m]
S1	SL1-0 SL1-400	6705446 6705830	25491091 25491203	400	5
S2	SL2-0 SL2-400	6705407 6705791	25491223 25491336	400	5
S3	SL3-0 SL3-400	6705371 6705752	25491356 25491468	400	5
S4	SL4-0 SL4-400	6705648 6705535	25491084 25491468	400	5

Taulukko 1. Ilvesvuoren seismisten luotauslinjojen S1 – S4 koordinaatit (ETRS-GK25)

3. LAITTEISTO

Mittauslaitteistona käytettiin 24 kanavaista seismografia, joka rekisteröi tulokset automaattisesti myöhempää prosessointia varten. Mittausgeofoneina käytettiin 10Hz:n vertikaaligeofoneja, jotka oli asetettu maahan vierekkäin.

Geofonien asennuksessa maaperän ylin pinta poistettiin ja geofonit asetettiin suoraan tukevasti kiinni maa-ainekseen. Talviolosuhteet aiheuttivat merkittäviä haasteita geofonien asennuksessa, etenkin pinnasta jäätyneen maan vuoksi. Geofonien tyypilliset 10cm pitkät piikit poistettiin ja korvattiin 30cm ja 50cm pitkällä piikeillä. Geofonit kytkettiin kokoojakaapelilla yhteen ja kytkettiin seismografiin.

Räjäytysreikien valmistelu tehtiin porakoneella. Räjäytys toteutettiin dynamiitillä, sähköisellä sytytysjärjestelmällä sekä sähköräjäytysnalleilla. Räjäytysreiät täytettiin hienolla hiekalla ja peitettiin lopuksi paksulla kumisella matolla. Käytetyt räjähdeainemäärät ja räjäytyssyvyydet kirjattiin ylös tulkintaa varten.

4. MENETELMÄSTÄ JA TYÖN ERITYISPIIRTEISTÄ

Seismisessä mittauksessa maahan aiheutetaan räjäyttämällä, tai jollakin muulla tavalla, seisminen aalto, jonka kulkuaikaa seurataan geofonien avulla. Kulkuaika rekisteröidään jokaisen geofonin kohdalla ja saadusta aineistosta pystytään laskemaan maaperän eri kerrosten paksuudet ja seismiset nopeudet. Mikäli olosuhteet ja mittausulottuvuudet ovat riittävät, pystytään maaperästä määrittämään maaperän kerrosten lisäksi pohjaveden pinta sekä kallion pinta. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista.

Seismisen aallon nopeuden seurantaan käytettiin samanaikaisesti 24kpl vertikaaligeofonia. Jokaisen linjan ensimmäinen geofonipari oli myös jokaisen linjan nollapiste. Geofonien keskinäinen etäisyys oli jokaisella linjalla 5 metriä. Yhden täyden levityksen pituus oli 115 metriä. Kukin mittalinja oli 400 metriä pitkä ja geofonilevitykset sidottiin toisiinsa neljällä geofonilla, jolloin yhteen mittalinjaan käytettiin neljä levitystä.

Tulkinnan avulla pystytään määrittämään maapeitteiden paksuudet, kalliopinnan topografia sekä kallion laatu. Tulkinnassa määritetään jokaiselle geofonille ensisaapujan (P-aalto) kulkuaika räjäytyspisteestä geofonille. Ehjän kallion P-aallon nopeus on luokkaa 4500-6500 m/s. Ruhjeisessa kalliiossa P-aallon nopeus on noin 2500-4500 m/s. Mitä hitaampi on P-aallon kulkuaika, sitä rikkonaisempaa on kallio. Maapeitteissä seismisen P-aallon nopeus pohjavesipinnan yläpuolella on luokkaa 400-1300 m/s. Pohjavesipinnan alapuolella maapeitteen seismisen P-aallon nopeus on vähintään P-aallon nopeus vedessä eli noin 1500 m/s, karkeamman aineksen (moreeni) lisääntyessä kasvaa nopeus noin 2500 m/s.

Ilvesvuoren mittauksessa maaperä oli osittain jäässä, mikä vaikuttaa seismisiin nopeuksiin, mikäli routakerros olisi ollut täysin vesitäytteinen ja paksu, ei mittauksista olisi voitu toteuttaa, koska tällaisessa tilanteessa jäätyneen kerroksen P-aallon nopeudeksi muodostuu noin 5000 m/s, mikä on sama kuin kalliolla ja täten seisminen aalto ei olisi välttämättä kulkeutunut kallioon lainkaan. Routakerros oli kuitenkin ohuehko ja vesipitoisuus pinnassa oli vähäinen ja sen alla sula pohjavesi, joten mittaukseen ei tullut teknisiä ongelmia tästä johtuen.

Kallionopeuksien laskemisessa tärkeässä osassa ovat linjalla suoritettavat kaukoräjäytykset. Tarkasti ottaen ne suoritetaan linjan ulkopuolella, noin 50-100m linjan alku- tai loppupään suoralla jatkeella. Linjalla tehtävät räjäytykset tarvitaan linjan kerrospaksuuksien tulkintaa varten. Tyypillisesti yhdelle seismiselle linjalle suoritetaan kaukoräjäytykset sekä linjan alku- että loppupäässä. Geofonilinjan sisällä suoritetaan räjäytyksiä noin 30m välein.

Räjäytysaineena käytettiin Fordyn-dynamiittia. Räjäytyspanosten koko vaihteli 30-240 grammaan, riippuen räjäytyspanoksen sijainnista ja syvyydestä linjalla.

Mittausmenetelmä on herkkä ulkoisille häiriötekijöille. Koska geofonit rekisteröivät maaperässä etenevät aaltoliikkeet hyvin herkästi, mittausalue oli kuitenkin suhteellisen kaukana suuremmista teistä ja aineiston laatu oli yleisesti ottaen hyvä.

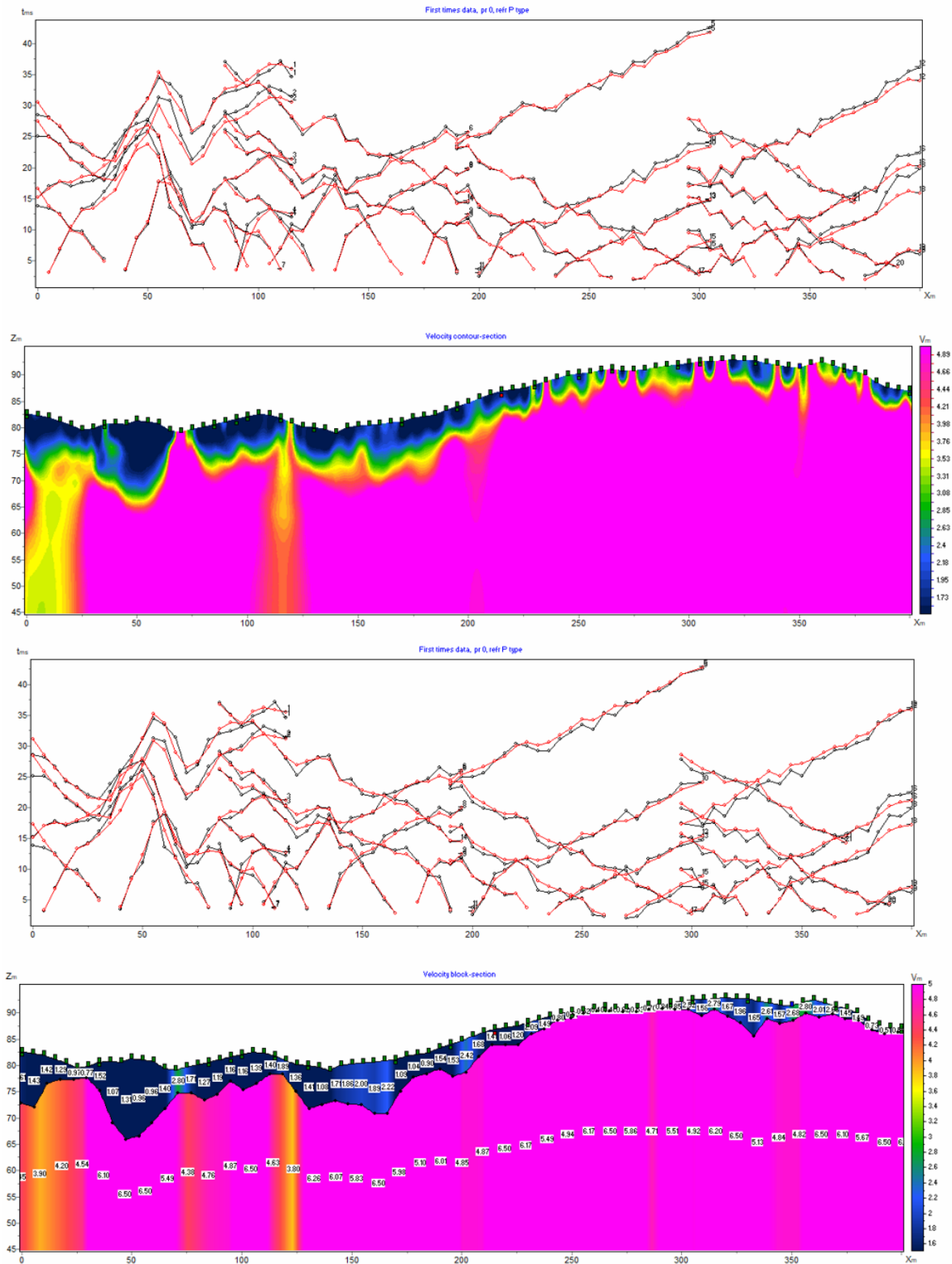
5. TULKINTA

P-aalto tomografia ja kerrostulkinta

P- aaltojen saapumisajat poimitaan ensimmäisenä seismogrammeista kullekin räjäytykselle. P-aaltojen poiminta on periaatteelta yksinkertaista, koska se saapuu ensimmäisenä, jolloin se on helppo tunnistaa.

Tomografiakäsittely tehtiin "ZondST2D" ohjelmalla. Mittalinja jaetaan ensin soluihin linjan matkan ja syvyyden suunnassa. Ohjelma laskee maankamaralle P-aallon nopeusmallin kulkuaikojen perusteella säätämällä kunkin solun aallon nopeutta ja määrittää mallin perusteella aaltojen kulkureitit maankamarassa. Ohjelma suorittaa tätä inversiolaskennaksi kutsuttua prosessia mallia muuttamalla, kunnes ohjelman laskemat kulkuajat vastaavat mitattuja kulkuaikoja, käsittelyä suorittavan geofyysikon määrittämien virherajojen sisällä. Maankamara on jaettu soluihin, ja kunkin solun P-aallonnopeutta säädetään käytettävän algoritmin perusteella. Yleinen käytäntö on pakottaa ohjelma pitämään eri solujen väliset muutokset pehmeinä, jolloin laskenta on yksinkertaisin mahdollinen ja samoin tuloksena saatavaa malli on mahdollisimman yksinkertainen. Vaikka tällainen pehmeä muuttuminen, ei yleensä olekaan geologialle ominaista, on tämä yleensä varmin tapa suorittaa inversiolaskenta onnistuneesti, koska mikäli mallin sallitaan muuttavan arvoja rajattomasti voidaan saada aikaiseksi malli, joka kyllä sopii mittaustuloksiin, mutta on muuten täysin järjenvastainen,. Tulkitsijan tehtäväksi jää tällöin mallista rajapintojen määrittäminen.

Tomografia mallinnuksen jälkeen tehtiin erillinen kerrosmallitulkinta, joka tapahtui asettamalla malliin kaksi eri kerrosta, joista ensimmäinen vastaa maapeitteiden P-aallon nopeuksia (400 - 2500 m/s) ja jälkimmäinen kallion nopeuksia 2500 - 6500 m/s. Ohjelma säätää kerrosten paksuuksia ja säätää nopeuksia tasaisesti kerroksen sisällä.



Kuva 2. Kuva tulkintaohjelmalla tuotetusta linjan S2 tomografia- (ylempi) ja 2-kerrosmallista (alempi). Sektiokuvien yläpuolella on mustalla mitatut seismiset kulkuaajat (y-akseli millisekunteja) kaikille linjalla suoritetuille räjäytyksille ja punaisella kustakin mallista laskettu teoreettinen kulkuaika.

6. TULOKSET

P-aalto kerrostulkinta Ilvesvuoren alueella

Tulokset on toimitettu DXF-muodossa sekä Tomografia aineistolle, että kerrostulkinnalle. Kerrostulkinnassa DXF-tiedosto sisältää maanpinnan muodon sekä tulkittujen maapeitteiden ja kallion välisen rajapinnan.

Tulkinnassa määritettiin kaikille mittauslinjoille tulokset kaksikerrostulkinnalla, joissa ensimmäinen kerron on maapeitteet ja toinen kerro kallioiperä. Maanpintakerroksen osittainen jäätyminen nostaa P-aallon nopeuksia ja tästä syystä normaalisti löyhät kerrokset näkyvät seismisessä mittauksessa nopeampina mistä syystä kaikki maapeitteet päätettiin tulkita yhtenä kerroksena kallion yläpuolella. Seismisen menetelmän tarkkuus on parhaimmillaan alle 10 metrin syvyydellä noin 1 metri ja syvemmällä 10 - 20 % syvyydestä. Poraustietojen avulla voidaan tulkintaa tarkentaa, mutta tässä tapauksessa olemassa olevia poraustietoja käytettiin vain suuntaa antavasti niiden harvuuden vuoksi ja lisäksi seisminen menetelmä näytti pääosin suurempia kerrospaksuuksia, niin katsottiin parhaaksi olettaa, että poraukset ovat joissakin paikoissa voineet pysähtyä lohkaraiseen tai rikkonaiseen/rapautuneeseen kalliopintaan, jolloin seisminen menetelmä näyttää käytännössä ehjän kalliopinnan syvyyden.

Seismisen menetelmän tulkinat tulee kriittisistä paikoista aina varmistaa kalliovarmistusporauksilla, jonka jälkeen tuloksia voidaan vielä tarkentaa, jos katsotaan tarpeelliseksi. Seisminen aalto kulkee aaltorintamana nopeinta reittiä ja nopein reitti ei aina ole suoraan mittalinjan alla, etenkin jos kallionpinta kaatuu kohtisuoraan linjan suunnassa tai siinä on jyrkkiä muutoksia.

Tulkintakuvissa on käytetty neljää ruhjeluokkaa seuraavasti:

Ruhjeluokka	Luokan kuvaus
RL1	<i>Mahdollisesti ruhjeinen vyöhyke, leveys < 5m.</i>
RL2	<i>Todennäköisesti ruhjeinen tai voimakkaasti rakoillut vyöhyke, leveys < 5m.</i>
RL3	<i>Ruhjeinen tai voimakkaasti rakoillut vyöhyke, jonka leveys normaalisti > 5m.</i>
RL4	<i>Tavallisesti 10m leveämpi ruhje ja erittäin rikkonainen</i>

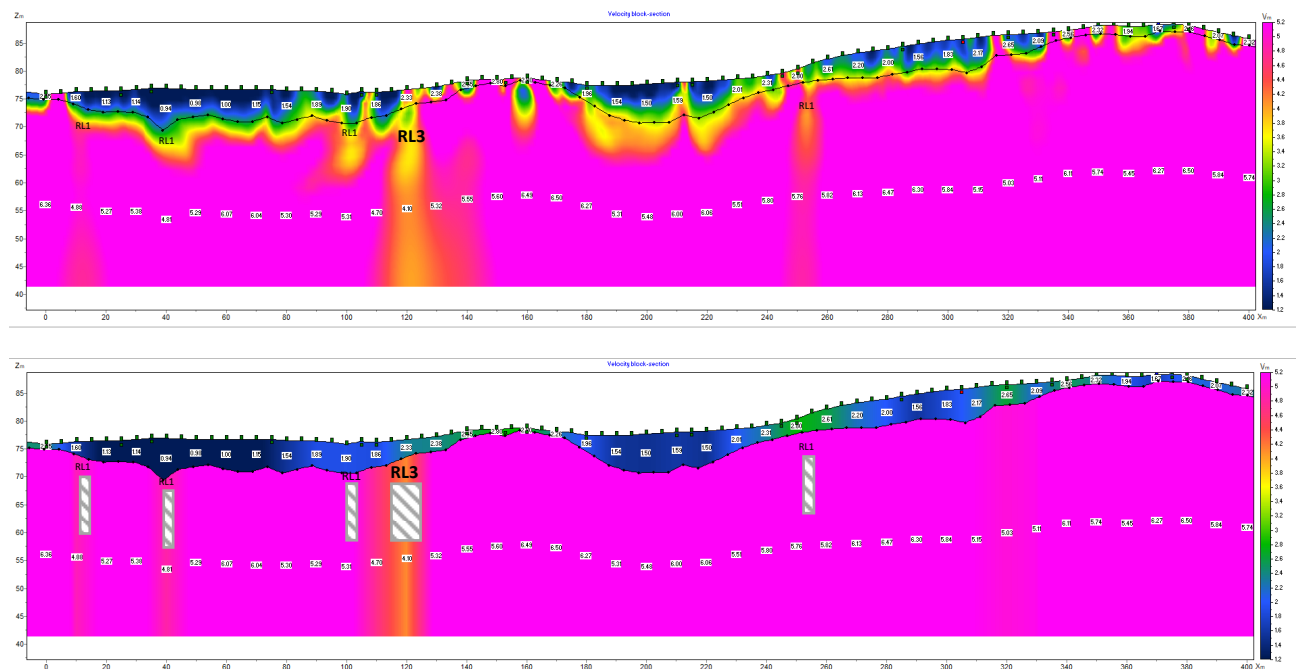
Ensimmäisen kerroksen paksuus mittalinjoilla oli 0.2 - 18 metriä ja P-aallonnopeus kerroksessa hyvin vaihteleva 700 - 2200 m/s. Hitaimmat nopeudet vastaavat löyhää ja kuivaa maaperää. Nopeuden ollessa >1500 m/s on kyseessä pohjavedenpinnan alapuoliset kerrokset pääsääntöisesti. Myös tiiviin ja kuivan hiekkamoreenin P-aallon nopeus voi nousta jopa 1500 m/s:iin, joten pelkän P-aallon perusteella, ei voida täysin varmaa tulkintaa asiasta tehdä. Vastaavasti pohjavedenpinnan alla sijaitseva tiivis hiekkamoreeni on normaalisti +2000 m/s. Pelkässä vedessä P-aallon nopeus on keskimäärin 1450 m/s. Maan jäätymisestä johtuen pintamaiden nopeudet näyttäytyivät normaalia nopeampina etenkin avoimilla alueilla, joissa

routakerros oli paikoin 30 – 50 cm. Aallon nopeudet olivat tällaisissa paikoissa pääosin >1500 m/s – 2000 m/s, jolloin ne vastaavat jo syvempien pohjaveden pinnan alapuolella olevia savi, hiekka ja hiekkamoreeni kerroksia. Mikäli jäätyneen pinnan alla olisi kuivaa materiaalia, jonka nopeus olisi pintakerrosta hitaampi, aiheutuisi tästä ns. "piilokerros", joka paksuudesta riippuen jäisi havaitsematta, mikä aiheuttaisi tulokseen kerroksen paksuuden verran virhettä. Joissakin yksittäisissä kohdissa linjoilla näin vaikutti olevan, mutta ne olivat hyvin paikallisia ja nähtävissä vain noin 20 – 30 metrin pituudella. Nämä pyrittiin poistamaan tulkinnoista, mutta on mahdollista että kaikkea ei saatu poistettua/havaittua, mikä aiheuttaa epävarmuutta kerrospaksuustulkintoihin.

P-aallon nopeudet kalliossa linjoilla vaihtelivat 3000 m/s – 6500 m/s. Ehjän kallion nopeudet ovat pääsääntöisesti vähintään >4500 m/s ja yleensä luokkaa 5000 – 6500 m/s. Matalammat P-aallon nopeudet kalliossa aiheutuvat ruhjevyöhykkeistä tai voimakkaasti rakoilleesta ja muuttuneesta kallioista. Ruhjevyöhykkeet, jotka ovat geofonivälillä ohuempia on pääosin merkitty mahdollisiksi ruhjeiksi ja niihin sisältyy epävarmuuksia. Tämä selittyy sillä, että mikäli kallionopeus ehjässä kalliossa on 5000 m/s ja yhdellä 5 metrin välillä on 1 metrin levyinen rikkonaisvyöhyke, jossa P-aallon nopeus on 2500 m/s (täysin rikkonainen) on lopputuloksena mitattu nopeus keskinopeus 5 metrin välillä, joka kuvatussa tapauksessa olisi 4500 m/s, joka voi aiheutua myös suhteellisen lievistä rakoilusta koko 5 metrin matkalla.

P-aalto kerrostulkinnat linjoittain:

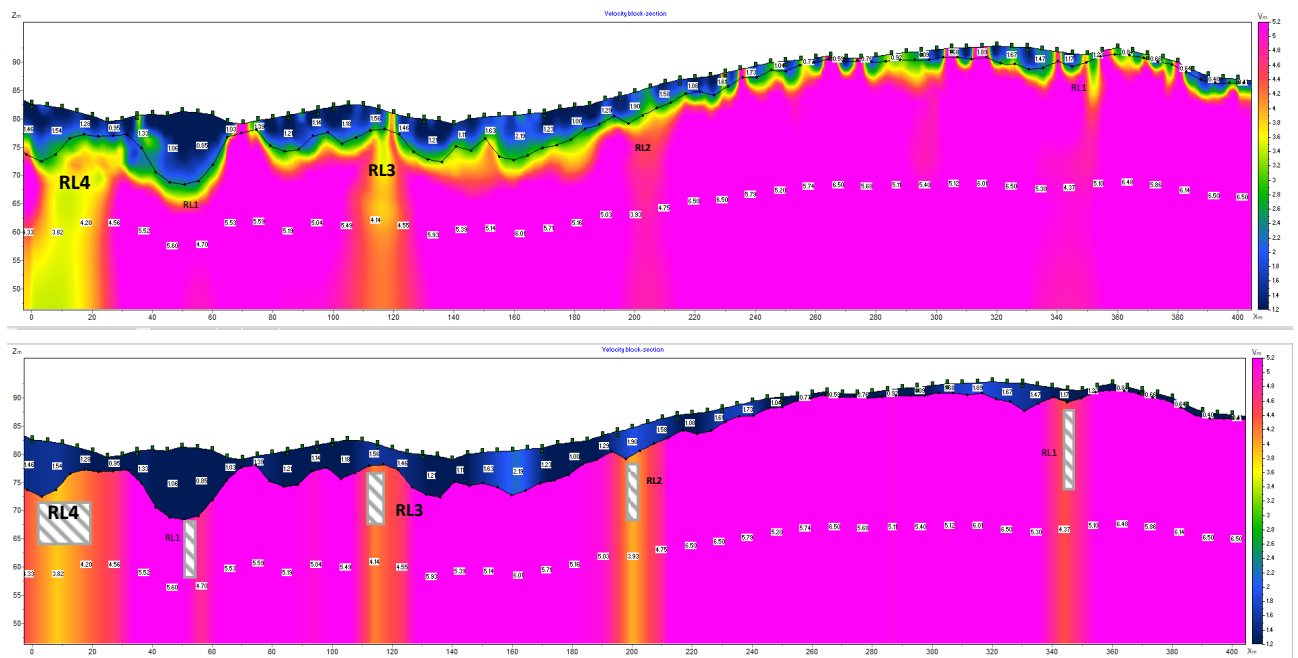
Linja S1



Kuva 3. Linja S1 Tomografia ja kerrosmallitulkinta ja ruhjeet.

Linjalla S1 kalliopinnan syvyys vaihtelee seismisen tulkinnan mukaan 0.2 – 7.0 metrin välillä. Linjalla on neljä RL1 luokan mahdollista pienempää ruhjetta tai paikallista painauma kalliion pinnassa, sekä yksi RL3 luokan ruhje. Paikoitellen tomografia kuvassa on havaittavissa kalliionpinnassa matalampia P-aallon nopeuksia (väli 180 – 220m), tämä mahdollisesti aiheutuu rapautumasta kalliion pinnassa.

Linja S2

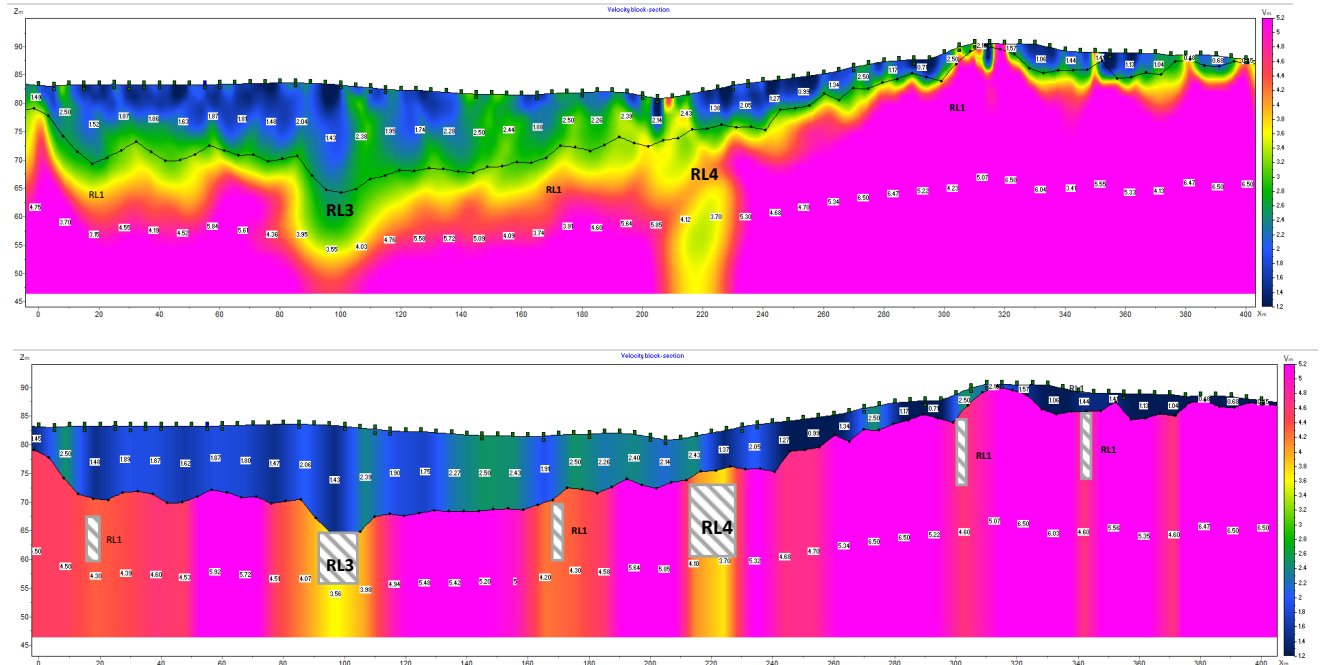


Kuva 4. Linja S2 Tomografia ja kerrosmallitulkinta ja ruhjeet.

Linjalla S2 kalliopinnan syvyys vaihtelee seismisen tulkinnan mukaan 0.2 – 13.0 metrin välillä. Syvin kalliopinta sijaitsee linjan alussa 40 – 60 metrin välillä, jossa tulkitut maapeitteet ovat 13 m. Tällä kohdalla saattaa myös olla ruhje, vaikka sitä ei tuloksissa selkeästi näy. Jyrkät pinnan muutokset kohdassa vaikuttavat merkittävästi seismisiin kuluaikoihin ja pienempiä muutoksia, kuten kalliionopeuden muutokset ovat hankala havaita.

Linjalla on kaksi RL1 luokan mahdollista pienempää ruhjetta tai paikallista painauma kalliion pinnassa, yksi RL2 luokan, yksi RL3 luokan sekä yksi RL4 luokan ruhje. RL4 sijaitsee linjan aivan alussa, ja on 10-20m leveä. RL3 luokan ruhje sijaitsee linjalla kohdalla 115 m kohdalla ja kyseessä on selkeä ruhje, joka on noin 5 – 10 m leveä. Paikoitellen tomografia kuvassa on havaittavissa kalliionpinnassa matalampia P-aallon nopeuksia (väli 140 – 180m), tämä todennäköisesti aiheutuu rapautumasta kalliion pinnassa.

Linja S3

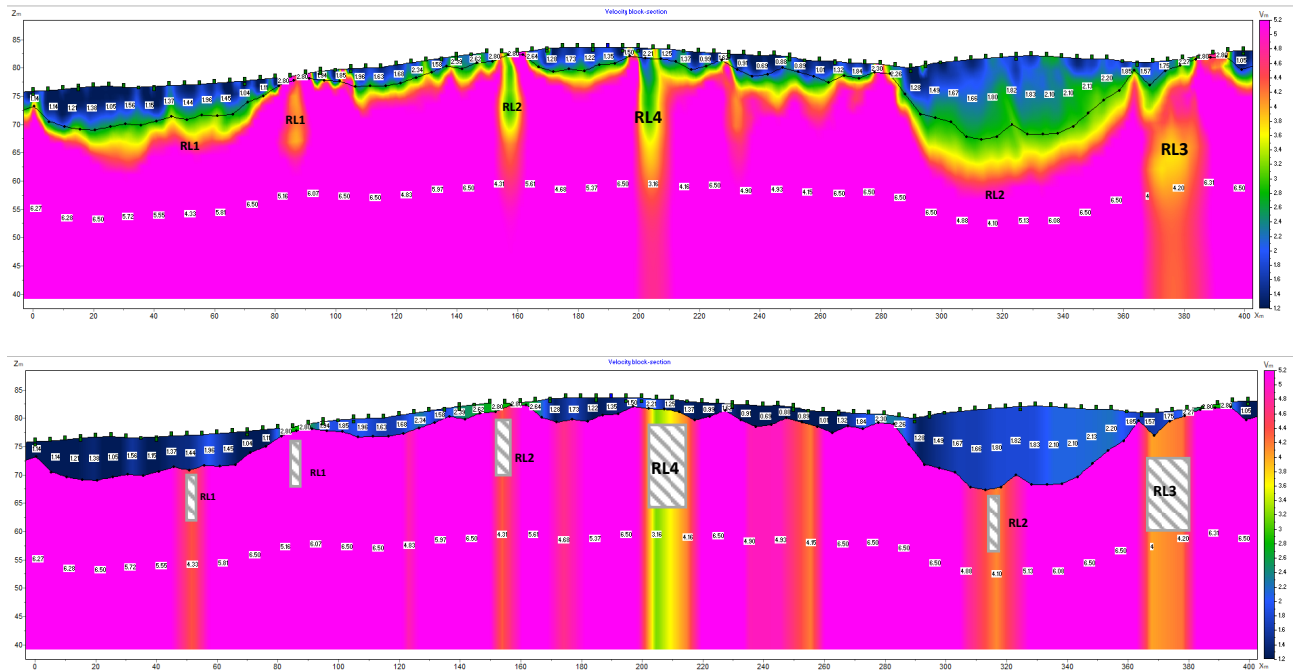


Kuva 5. Linja S3 Tomografia ja kerrosmallitulkinta ja ruhjeet.

Linjalla S3 kalliopinnan syvyys vaihtelee seismisen tulkinnan mukaan 0.2 – 18.0 metrin välillä. Syvin kalliopinta sijaitsee linjalla 80 – 110 metrin välillä, jossa sijaitsee painanne ja ruhjevyöhyke RL3. Kalliopinnan tarkka taso on epävarma, koska ruhjeisen kallion ja tiiviin moreenin P-aallon nopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan ja on mahdollista, että kallion pinnassa ei ole lainkaan painaumaa, vaan ainoastaan hyvin rikkonaista kalliota. Jyrkät pinnan muutokset kohdassa vaikuttavat merkittävästi seismisiin kulkuaikoihin ja pienempiä muutoksia, kuten kallionopeuden muutokset ovat hankala havaita.

Linjalla on neljä RL1 luokan mahdollista pienempää ruhjetta tai paikallista painaumaa kallion pinnassa, yksi RL3 luokan yksi RL4 luokan ruhje. RL4 sijaitsee linjan keskiosassa 220 m kohdalla ja on 5 – 10m leveä, P-aallon nopeus on ~3500 m/s mikä viittaa hyvin rikkonaiseen kallioon.

Linja S4



Kuva 6. Linja S4 Tomografia ja kerrosmallitulkinta ja ruhjeet.

Linjalla S4 kalliopinnan syvyys vaihtelee seismisen tulkinnan mukaan 0.2 – 15.0 metrin välillä. Syvin kalliopinta sijaitsee linjalla välillä 280 – 360 metriä, jossa sijaitsee painanne ja mahdollinen ruhjevöyhyke RL2 sen keskiosassa ja itäreunassa RL3 selkeämpi ruhje tai voimakkaasti rakoillut kallio 5 – 10m osuudella. Syvänteiden pohjan kalliopinnan tarkka taso on epävarma, koska ruhjeisen kallion ja tiiviin moreenin P-aallon nopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan. Lisäksi kohdalla 210 metriä havaitaan hyvin alhaisia nopeuksia, mikä viittaa erittäin rikkonaiseen kallioon 5 – 10 metrin levyisellä matkalla.

Tyypillisiä P-aallon nopeuksia eri väliaineissa

Pehmeä maa-aines (multa-aines) : 350m/s - 600m/s

Savet ja siltti ja hieno hiekka : 800m/s - 1400 m/s

Vesi: 1450 m/s

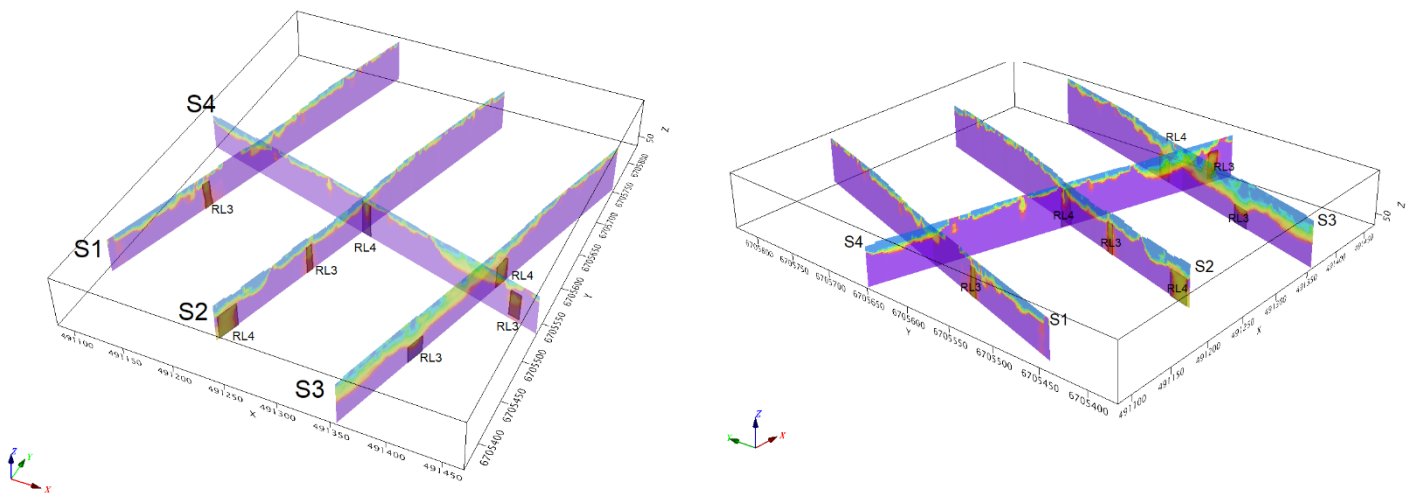
Hiekkamoreeni ja moreenipitoinen aines sekä pehmeät kivet.: 1500 m/s - 2200m/s

Tiivis moreeni: 2300 m/s - 2600m/s

Kova kallio : 4500 – 6500 m/s (ka. 5500m/s)

7. YHTEENVETO

Ilvesvuoren refraktioseismisessä mittauksessa määritettiin kalliopinnan syvyys sekä paikallistettiin kullakin linjalla todennäköisiä ruhjevyöhykkeitä. Ruhjeet vaikuttavat olevan linjojen välillä yhdistettävissä etenkin selkeimpien RL3 & RL4 ruhjeiden osalta kuten kuvasta 7 voi nähdä.



Kuva 7. Seisminen tomografia tulos 3D-näkymässä kahdesta eri kulmasta. Ruhjeet RL3 & RL4 merkitty kuvaan.

LIITTEET:

1. Tulokset DXF-formaatissa kullekin linjalle paikalliskoordinaateissa, matka linjalla = X, korkeus = Y ja 3D-muodossa ETRS-GK25 muodossa. Tomografiatulos kuvana. Kerrostulkintatiedostossa maanpinnan korkeus ja tulkitun kalliopinnan korkeus ja ruhjeet.
2. Tulokset Excel-formaatissa kerrosmallitulkinnalle.

