

TIETOMALLIN TOTEUTTAMINEN TIESTÖN SUUNNITTE-  
LUSSA POHJATUTKIMUKSIA APUNA KÄYTTÄEN

Hannu Palo

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja Liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Hannu Palo	Vuosi	2016
<b>Ohjaaja</b>	Jaakko Lampinen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Road Consulting Oy		
<b>Työn nimi</b>	Tietomallin toteuttaminen tiestön suunnittelussa pohjatutkimuksia apuna käyttäen		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	40 + 27		

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa lukijalle tietoa tietomallien sisällöstä ja siihen liittyvistä tutkimuksista, jotka sisälsivät tutkittavan alueen suunnittelun ja pohjatutkimukset. Alueelle tuli suunnitella tieverkosto pohjatutkimusten ja maatutkamittausten perusteella. Tärkeimpänä tavoitteena oli maastomallien ja kalliopinnan yhdistäminen tulkittavaksi kokonaisuudeksi.

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin tietomalliin liittyviä mittauksia ja tutkimuksia eri menetelmin. Menetelmiä olivat maatutkamittaukset, paikkatietomittaukset ja pohjatutkimukset. Maatutkamittauksilla selvitettiin kalliopintojen sijainti maanpinnan alapuolella. Pohjatutkimuksilla haluttiin saada tietoa maalajeista ja varmistaa maatutkalla saatu kalliopinnan syvyysijainti. Pohjatutkimukset suoritettiin monitoimikairavaunulla. Tutkimusaineistojen käsittelyt suoritettiin pääasiassa 3D-Win- ja Road Doctor<sup>®</sup>-ohjelmistoilla. Valmiita malleja tutkittiin Tekla BIM-sightin ohjelman avulla.

Työn tuloksena saatiin yhdistettyä maastomalli ja kalliopinta tulkittavaksi kokonaisuudeksi tehtyjen pohjatutkimusten ja maatutkausten avulla. Tuloksena saatiin tieto kalliopinnoista ja niiden vaikutuksesta tieverkon rakentamiseen sekä pystyttiin luomaan tietomalli, jota voitiin hyödyntää tulosten tutkimisvaiheessa.

Työn johtopäätöksenä voidaan sanoa, että tehtyjen tutkimusten avulla pystyttiin saamaan tarvittava tieto maaperästä ja voitiin luoda tietomalli, josta selviää kalliopintojen syvyys ja sijainti. Pystyttiin vertaamaan niitä suunniteltuun tieverkkoon. Kalliopinnan vaikutukset tieverkkoon nähden pystyttiin esittämään virtuaalimallin avulla.

Technology, Communication and  
Transport  
Degree Programme in Land Surveying

---

<b>Author</b>	Hannu Palo	<b>Year</b>	2016
<b>Supervisor</b>	Jaakko Lampinen		
<b>Commissioned by</b>	Road Consulting Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Implementing information model and using soil exploration data in road planning		
<b>Number of pages</b>	40 + 27		

---

The aim of this thesis is to provide information on the building information modeling content and related research which included the planning and ground survey of the research area. Based on the executed ground survey as well as the ground penetrating radar measurements a road network was to be planned. The main goal was to combine the terrain models with the rock face data to form one cohesive research entity.

The work comprised of planning and executing the building information modeling related research and surveys utilizing a variety of research methods such as ground penetrating radar and GPS measurements as well as ground surveys. The ground penetrating radar tool was used to examine the rock face locations beneath the ground surface. Ground surveys were utilized to gather information on soil types as well as to verify the ground penetrating radar measurements. The ground surveys were carried out using a multipurpose soil auger carriage. The research data was processed primarily with the help of 3D-Win and Road Doctor® -softwares. The completed models were investigated with the Tekla BIMsight software.

By exploiting the data derived from the performed soil surveys as well as the ground penetrating radar measurements, the terrain models were combined with the rock face data in order to form one cohesive research entity. As a result, information on rock faces and their impact on the road network construction was derived. In addition, a building information modeling was created which was exploited in the research data examination phase.

To conclude, through the performed research the necessary soil information was accumulated and a building information modeling was authored embodying the rock face depth and location. Thus, the comparison of the aforesaid with the planned road network was enabled. With the means of the virtual model, the representation of the rock face impact on the road network was made possible.

**Key words** BIM, rock face combination, ground survey

## SISÄLLYS

KUVIOLUETTELO .....	1
ALKUSANAT.....	2
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	3
1 JOHDANTO.....	5
2 MALLIEN TAUSTAA.....	6
2.1 Maastomalli.....	6
2.2 Kalliopinnan yhdistäminen .....	6
2.3 Tietomallin tekeminen .....	7
3 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	9
3.1 Maatutka.....	9
3.2 GPS-mittaus eli satelliittipaikannus.....	10
3.3 Maaperäkaira.....	12
3.3.1 Painokairaus .....	12
3.3.2 Porakonekairaus .....	13
3.3.3 Häiriintyneiden näytteiden ottaminen .....	14
4 OHJELMISTOT.....	15
4.1 3D-Win.....	15
4.2 QGIS.....	15
4.3 Road Doctor® .....	16
4.4 Tekla BIMsight .....	16
5 TYÖN SUORITTAMINEN JA SEN TULOKSET.....	17
5.1 Mittausten suunnittelu.....	17
5.2 Yleistä mittauksista .....	18
5.3 Mittaukset maastossa .....	19
5.4 Maaperätutkimukset monitoimikairalla.....	20
5.5 Mittaustulosten käsittely.....	21
5.5.1 Kairaustulosten käsittely.....	21
5.5.2 Maatutkamittausten käsittely Road Doctor® -sovelluksella.....	22
5.5.3 GPS-mittausaineiston käsittely 3D-Win sovelluksella.....	25
5.6 Tietomallin tarkastelu Tekla BIMsightilla.....	27
5.7 Tulokset .....	33
5.7.1 Tulokset maastotöiden osalta.....	33

5.8 Tulokset aineistojen käsittelyssä.....	33
6 YHTEENVETO .....	36
LÄHTEET.....	38
LIITTEET .....	40

## KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. GPS-mittauslaitteisto. (Kuva Terhi Seppänen).....	18
Kuvio 2. Maatutka Sir-4000 varustettuna 270MHz:n maavasteantennilla. (Kuva vasemmalla Terhi Seppänen, oikealla Hannu Palo) .....	19
Kuvio 3. Monitoimikaira GM 75 GT .....	21
Kuvio 4. Vasemmalla kairaustekla ja oikealla kairausdiagrammi kairapisteestä 43.....	21
Kuvio 5. Road Doctor <sup>®</sup> - sovelluksessa näkyvillä mittakaavan tasoitus .....	22
Kuvio 6. Road Doctor <sup>®</sup> referenssitiedoston luonti kairapisteelle 43.....	23
Kuvio 7. Tie8:n alkuperäinen maatutkadatalinja .....	23
Kuvio 8. Vakiotaustan poisto.....	24
Kuvio 9. Maatutkadatan tulkinta .....	24
Kuvio 10. Laserkeilausaineiston pistepilvi .....	25
Kuvio 11. Poikkileikkauksen tasot.....	26
Kuvio 12. Tie1:n tieparametrit .....	26
Kuvio 13. Tie1:n poikkileikkaus .....	27
Kuvio 14. Malli parametrin avulla rakennetusta tie kartasta. ....	27
Kuvio 15. Maastomalli ja kalliopinnat .....	28
Kuvio 16. Maastomalli ja kaikkien uusien teiden pinnat. ....	29
Kuvio 17. Maastomalli, tien pinnat ja leikkauspinnat. ....	29
Kuvio 18. Maastomalli, tie-, leikkaus- ja kalliopinnat. ....	30
Kuvio 19. Tekla BIMsight sovelluksen työpöytä näkymä.....	31
Kuvio 20. Tie8:n profiili.....	31
Kuvio 21. Tie8:n leikkauspinnan ja maastomallin profiili. ....	32
Kuvio 22. Tie8:n tien pinnan, kantavan pinnan, leikkauspinnan ja maastomallin profiili .....	32
Kuvio 23. Kaikkien teiden pinnat, leikkauspinnat ja kalliopinnat.....	34
Kuvio 24. Tie3:n kalliopintojen tarkastelu.....	35
Kuvio 25. Tie8:n kalliopintojen tarkastelu.....	35

## ALKUSANAT

Opinnäytetyön on laatinut Hannu Palo Road Consulting Oy:stä. Tärkeinä avustajina opinnäytetyössä ovat toimineet Road Consulting Oy:stä Terhi Seppänen, Teemu Leino sekä Kari Mononen. Haluan kiittää heitä kaikkia, korvaamattomasta avusta mittauksissa, kairauksissa ja tutkadataihin tehdyissä tulkinnoissa.

Haluan kiittää erityisesti myös perhettäni, jolta olen saanut paljon ymmärrystä ja työrauhan opinnäytetyön tekemiseen. Ilman heidän tukeaan opinnäytetyön tekeminen olisi ollut erityisen haastavaa.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Dielektrisyys	Kuvaa väliaineen suhteellista permittiivisyyttä, eli aineen läpäisevää sähkön johtokykyä.
GALILEO	Euroopan Unioni toteuttama satelliittipaikannusjärjestelmä, joka pyritään ottamaan käyttöön 2020-luvulla.
GHz	Gigahertsi eli taajuuden yksikkö on hertsi ja giga on $10^9$ eli 1 000 000 000 Hz.
GLONASS	Venäläisten kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GM 75 GT	Keskiraskas monitoimikairavaunu, valmistaja Geomachine Oy.
GNSS	Global Navigation Satellite System on eri maiden ylläpitämien paikannusjärjestelmien kokonaisuus.
GPS	Global Positioning System on amerikkalainen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GSSI	Geophysical Survey Systems Incorporated, maatumakanvalmistaja.
ETRS-GKn	ETRS89-järjestelmän kanssa käytettävä tasokoordinaatisto. GK tarkoittaa Gauss-Krüger-projektiota ja n keskimeridiaanin astelukua, esimerkiksi ETRS-GK26.
MHz	Megahertsi eli taajuuden yksikkö on hertsi ja mega on $10^6$ eli 1 000 000 Hz.



N2000	Suomen uusin, 2006 valmistunut valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
Range	Maatutkassa käytettävä ikkunointiaika.
RTK	Real Time Kinematic reaaliaikaisessa kinemaattisessa laskennassa mittaukset suoritetaan reaaliajassa. Mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä.
Sample per scans	Maatutkan ominaisuus, joka ilmoittaa, kuinka monta näytettä otetaan yhdessä tutkauksessa eli skannauksessa.
Scans per second	Tutkan ominaisuus, joka ilmoittaa, kuinka monta skannausta tehdään sekunnissa.
Sir-4000	Tutkan ohjelmistoversio.
Trimble	GPS-mittalaitteistojen laitevalmistaja.
VRS	Virtual Reference Station, mittausmenetelmässä luodaan kartoitusvastaanottimen lähelle virtuaalinen tukiasema, joka määräytyy kiinteän tukiasemaverkon havaintojen ja erilaisten virhelähteiden mallinnuksen avulla.

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe tuli valituksi työpaikan projektin myötä. Osa tämän opinnäytetyön tiedoista perustuukin omaan työkokemukseen. Opinnäytetyön taustalla olevan projektin vuoksi opinnäytetyön kohde on pidettävä salaisena. Projektin sisältöön kuuluu tutkittavan alueen suunnittelu ja pohjatutkimukset. Niin sanottuun metsä-alueeseen kuuluu suunnitella annettujen ohjeiden mukaisesti tieverkosto ja niiden varrelle kiinteistöt, pohjatutkimusten ja maatutkimusten perusteella. Erittäin tärkeä osa tätä tutkimusta on kalliopintojen selvittäminen. Kalliopintojen selvittäminen tapahtuu yleensä maatutkan avulla, sekä referenssipisteiden tutkiminen maaperäkairauksilla.

Opinnäytetyössä päätavoitteena on saada yhdistettyä maastomalli ja kalliopinta tulkittavaksi kokonaisuudeksi. Kaikki mittaukset tehdään itse. Apuna käytetään maanmittauslaitoksen tekemää pintamallia alueelta, jota täydennetään tehtävien teiden ja rakennuksien läheisyydeltä. Aluetta pyrittiin suunnitella luontoa ja kustannuksia säästäen. Alueen käyttötarkoituksena on majoitus- ja matkailu-alue. Rakennusalue oli haastava, koska alueen korkeuserot vaihtelevat suuresti pienelläkin alueella yli 25 metriä. Tulevaisuudessa on tarkoitus jatkaa alueen kehittämistä entistä enemmän matkailua ajatellen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lisäksi parantaa Road Consulting Oy:n henkilöstön osaamista vastaavissa projekteissa, tiesuunnittelussa ja virtuaalimallinnuksessa. Lisäksi haluttiin testata kaluston käytettävyyttä.

## 2 MALLIEN TAUSTAA

### 2.1 Maastomalli

Maastomalli on numeerinen tiedosto, joka kuvaa maaston muotoa ja sijaintia kolmiulotteisesti. Maastomalli koostuu hajapisteistä, taiteviivoista tai säännöllisestä ruudukosta. (Kopposela, L. 2012, 4.)

Maastomallin tarkoitus on antaa oikeanlainen kuva olemassa olevan maaston pinnanmuodoista. Maastomalliin kerätään maanpinnan korkeustieto ja sijainti. Näitä kerättyjä tietoja esitetään koordinaatistossa x-, y- ja z-lukuina. (Kopposela, L. 2012, 6.) Maastomallin aineistojen keräämiseen on monia tapoja mitaamalla maastossa GPS:llä, takymetrillä tai laserkeilauslaitteistoilla.

Maastomallista saatava hyöty kasvaa kovaa vauhtia, sitä käytetään suunnittelussa yhä enemmän apuna. Maastomallin hyödyntämistä sovelletaan koko ajan uusille aloille ja ohjelmistokehittäjät kehittävät jatkuvasti ohjelmistoja ja sovelluksia. Maastomallia käytetään suunnittelussa enemmän ympäristömallina, jossa suunnitellaan suoraan maastomallin päälle, jossa maastomallin päälle luodaan esimerkiksi rakennukset, kadut ja puusto. Tarkasteluja tehdään 3D-malleina. Maastomallista on suuri hyöty kustannuslaskentaan. Tämän avulla pystytään helposti ja luotettavasti laskemaan esimerkiksi massan vaihdot ja näistä syntyvät kulut. Maastomallien avulla tehdyt ympäristömallit auttavat vaikutusten arvioinneissa esimerkiksi kaava-alueilla. (Kopposela, L. 2012, 7.)

### 2.2 Kalliopinnan yhdistäminen

Työni ohessa olen havainnut, että kalliopintoja voi olla maanpinnalla ja maanpinnan alapuolella. Nämä pinnat täytyy saada ensin todettua. Avokalliot ovat helpompia ja ne pystytään havaitsemaan silmämääräisesti maastossa. Maanpinnan alapuolella olevat kalliopinnat eivät löydy silmämääräisellä tarkastelulla. Maatutkamittauksien ja referenssikairausten avulla saadaan tietoa kalliopinnan tasosta eli syvyydestä, sellaisilla alueilla missä kallio ei ole silmämääräisellä

tarkastelulla havaittavissa. Edellä mainitut kalliopinnat täytyy kerätä eri menetelmin.

Avokalliopinnan mittaaminen tapahtuu samalla tavalla, kuin muukin maastomallin mittaaminen. Kalliopinnat mitataan pintatunnusta kaksi käyttäen, joka on määritelty useissa maastomallien mittausohjeissa. (Vitikainen 1995.)

Työni ohella olen havainnut, että maatutkalla saatu kalliopinta voidaan varmistaa referenssikairauksien avulla. Maatutka-aineiston käsittely ohjelmistolla todettu kalliopinta voidaan kirjoittaa sellaiseen muotoon, että se on luettavissa 3D-Winillä. Kairaustekla tiedostomuodot pystytään lukemaan suoraan 3D-Winillä. Tämän jälkeen eri menetelmin saadut kalliopinnat on yhdistettävä samaksi tasoksi. Yhdistäminen voidaan tehdä 3D-Winin avulla.

3D-Win ohjelmistolla voidaan, yhdistää kaksi maastomallia tällöin saadaan yksi maastomalli, joka on esimerkiksi korkeuseropinta. Eropinta on kolmioverkko, jossa kunkin pisteen z-koordinaatti kertoo korkeuseron mallien välillä. (3D-system Oy 2015, 24.)

### 2.3 Tietomallin tekeminen

BIM:llä eli Building Information Modelingilla tarkoitetaan rakennuksen tietomallia. Se on digitaalisesti luotava ja todellisuutta vastaava virtuaalimalli. Virtuaalimalleja käytetään apuna rakentamisen suunnittelussa ja kustannuslaskennoissa. Näissä malleissa on rakennuksen täsmälliset geometriatiedot sekä muuta tietoa koko rakennusprosessin aikana. Tietomallin hyötyjä ovat muun muassa aikataulutuksen arvioinnin ja riskien hallinnan parantuminen. Tietomallin avulla on myös helppo etsiä ratkaisuja ja vaihtoehtoja rakentamiseen ennen varsinaista rakentamista. (Trimble 2016c.)

InfraBIM on BIM:in infra-alan mallinnus, joka kuvaa: liikenne, vesihuolto ja energia rakentamista. Tarve yhteisestä inframallivaatimuksesta syntyi suurimpien infratilaajien tavoitteesta siirtyä tietomallintamisen käyttöön. Tuottavien tietomallien laadukkuuden toteamiseksi on tilaajilla ja palveluntarjoajilla oltava yh-

teinen näkemys mallinnettavista asioista hankkeiden erivaiheissa. Inframallivaihtimukset on tarkoitettu käytettäviksi hankintojen yleisinä teknisinä asiakirjoina sekä inframallintamisen ohjeina. (Niskanen, J. 2015, 3.)

Infrahankkeiden suunnittelun vaiheistetulla järjestelmällä mahdollistetaan riittävä vuorovaikutusta eri osapuolten välillä eri päätöksen teko ja suunnitteluvaiheissa, tätä ei ole säädelty yksityiskohtaisesti lainsäädännössä. Tyypillisesti rakennushankkeen kesto esisuunnittelusta lopputulokseen on useita vuosia. Tietomallin voi aloittaa mistä hankevaiheesta tahansa, ihannetulos olisi jos tietomalli valmistuisi projektin edetessä niin sanotusta rautalankaversiosta projektin edetessä aina täydentyen. Suunnittelun erivaiheissa tietomallinnusta hyödynnetään eri tavoin. Esisuunnitteluvaiheessa keskitytään teknisen toteuttamiskelpoisuuden selvittämiseen, investointi- ja ylläpitokustannusten luotettavaan määritykseen sekä suunnitelman hyväksyttävyyden varmistamiseen. Keskeinen elementti on yhdistelmämalli, joka on kooste kaikkien hankkeen tekniikka-alueiden malleista. Suunnitelman hyväksyttävyyden varmistamisen tukena ulkopuolisille yhteistyöryhmille sekä esimerkiksi alueen asukkaille voi olla yhdistelmä malliaineistosta tuotetusta visualisoidusta mahdollisimman todenmukaisesta esittelymallista, jossa on näkyvissä vain pinnat ja rakenteet. (Niskanen, J. 2015, 4 – 5.)

### 3 TUTKIMUSMENETELMÄT

#### 3.1 Maatutka

Maatutkaluotauksella tarkoitetaan menetelmää, joka on maan pintaa rikkomaton. Maatutkaluotaus perustuu radiotaajuisten sähkömagneettisten aaltojen käyttöön, jossa maatutka lähettää pulsseina sähkömagneettisia aaltoja maahan. Maatutkauksessa mitataan aikaa, joka kuluu kun pulssi menee eri rakenteiden sekä rajapintojen läpi, ja heijastuu takaisin. Tällä tavoin saadaan jatkuvaa profiilia maan yläpinnan rakenteesta ja pohjamaasta. Tarkistelemalla aikaa ja amplitudeja saadaan eri rajapinnoista heijasteita, joista voidaan tulkita rajapintojen eli maaperän eri kerrosten paksuuksia. Rajapintoja ovat erilaiset rakennekerrokset ja kosteuserot. (Tiehallinto 2005, 31.)

Johtavuus eli väliaineen sähkön johtokyky, joka kuvaa vapaiden varausten liikumista väliaineessa. Ulkoisen sähkökentän voimasta varaukset liikkuvat paikasta toiseen väliaineessa. Mitä enemmän vapaita varauksia siirtyy väliaineessa, sitä suurempi on väliaineen johtavuus. (Tiehallinto 2004, 12.)

Maatutkassa käytettävät antennit voidaan jakaa kahteen ryhmään maavasteantenneihin sekä ilmastevasteantenneihin, näiden erona on syvyys ulottuvuus. Antennit voivat olla monostaattisia tai bistaattisia. Monostaattinen antenni toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena. Bistaattisella antennilla tarkoitetaan, että lähetin ja vastaanotin toimivat omina antenneinaan. Antennien taajuudet vaihtelevat 80 – 2200 MHz:n välillä. Maavasteantennien taajuudet vaihtelevat 80 – 1500 MHz:n välillä ja ilmastevasteantennien taajuudet vaihtelevat 500 MHz:stä aina yli 2,2 GHz:iin saakka. Maavasteantennit ja ilmastevasteantennit eroavat toisistaan syvyys ulottuvuuden lisäksi myös mittaus tavallaan. Maavasteantenni laitetaan mitattaessa suoraan maan pintaa vasten. Ilmastevasteantenni asennetaan 0,3 – 0,5 metriä maanpinnan yläpuolelle. Suomessa käytettävien maavasteantennien syvyys ulottuvuus on noin yhdestä metristä neljään metriin ja matala taajuisilla 80 – 200 MHz:in antenneilla voidaan päästä jopa 30 metriin.

Ilmavasteantennilla päästään 0,4 metristä yhden metrin syvyyteen. (Tiehallinto 2004, 15 – 16.)

Maatutkaa käytetään monenlaisissa käyttökohteissa. Suomessa tyypillisiä kohteita ovat maa-ainestutkimukset, jossa saadaan karkea arvio pohjaveden pinnan tasosta ja mahdollisesta kallion pinnasta (Geo-Work Oy, 2016.). Liikennevirasto, ratahallintovirasto sekä elinkeino-, liikenne- ja ympäristövirastot hyödyntävät maatutkaluotausta muun muassa teiden kunnon ja rautateiden tukikerroksien arvioinnissa sekä laadunvalvontamittauksissa (Ratahallintokeskus 2007, 38.)

### 3.2 GPS-mittaus eli satelliittipaikannus

GPS eli Global Positioning System, yleisemmin puhutaan GPS-paikannuksesta koska satelliittipaikannus tukeutuu USA:n ylläpitämään GPS-satelliitteihin. Tästä tulee yleisesti käytetty kutsuma nimi GPS-paikannus. On myös muita satelliittipaikannusjärjestelmiä, kuten Venäläisten kehittämä Glonass-järjestelmä. (Laurila, P. 2008, 288 – 289.) Galileo-järjestelmää vielä testataan ja kehitetään Euroopan Unionin alueella. Galileon on arvioitu valmistuvan 2020-luvulla. (European Space Agency 2016.)

Myös Aasian maissa suunnitellaan omia paikannusjärjestelmiä. Tästä johtuen eri maiden ylläpitämien järjestelmien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan GNSS eli Global Navigation satellite System. Tämän GNSS-järjestelmän tavoitteena on eri järjestelmien yhteiskäyttö. Tällä hetkellä GPS- ja Glonass-järjestelmien yhteiskäyttö onnistuu. (Laurila, P. 2008, 289 – 290.)

Satelliittimittaus on nykyisin takymetrimittauksen ohella maastossa ja rakennustyömailla yleisesti käytettävä mittaus- ja kartoitusmenetelmä. Satelliittipaikannuksessa havaitaan satelliittien lähettämiä signaaleja, luotettavaan mittaustulokseen tarvitaan vähintään neljästä satelliitista saadut etäisyydet sekä etäisyyserot. (Laurila, P. 2008, 287, 298.)

Paikanmääritys tapahtuu antennien avulla siten, että antennit vastaanottavat satelliittien lähettämiä radiosignaaleja. Satelliitit lähettävät näitä radiosignaaleja eri taajuuksilla. Näiden signaalien kantoaaltoihin, lisättyjen binääristen koodien avulla pystytään määrittelemään sijainti eli suorittamaan paikanmääritys. Satelliittipaikanmääritys jaetaan kolmeen paikanmääritys tapaan absoluuttiseen, differentiaaliseen ja suhteelliseen. (Maanmittauslaitos 2016.)

Mittaus- ja kartoitustekniikan perusmenetelmä satelliittimittausten osalta on reaaliaikainen kinemaattinen mittaus eli RTK-mittaus, joka mittaustarkkuudeltaan sopii hyvin kartoitus-, merkintä- ja maastomallimittauksiin. RTK-mittauksessa tarvitaan tunnetulla pisteellä oleva vertailuvastaanotin eli tukiasema, joka lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikantavalle vastaanottimelle, joka ratkaisee koordinaatit reaaliajassa mittaushetkellä. Tukiasemalla ja vastaanottimella tulee olla seurannassa vähintään seitsemän satelliittia, luotettavan tuloksen saamiseen. (Laurila, P. 2008, 322–323.)

Perinteisen RTK-mittauksen rinnalle on kehitetty kiinteisiin tukiasemiin perustuva RTK-menetelmä, yksi yleisesti Suomessa käytössä oleva on VRS-verkko. Mittaajan vastaanotin lähettää likimääräisen sijaintinsa VRS-laskentakeskukseen GSM/GPRS-yhteyttä käyttäen. Laskentakeskus muodostaa virtuaalisen tukiaseman mittaajan vastaanottimen lähetyville, määrittää ja interpoloi havainnon verrattuna lähimpään todelliseen tukiasemaan sekä sen jälkeen lähettää korjausdatan mittaajan vastaanottimeen. (Maanmittauslaitos 2016.)

Opinnäytetyössä on käytetty VRS-mittausta. Työssä käytettiin Trimble R8 GNSS:ia ja TSC3:a, jotka ovat Trimblen valmistamia mittalaitteita. R8 GNSS-antennissa on niin sanottu 360 vastaanotin tekniikka. Se tukee signaaleita kaikista olemassa olevista GNSS-järjestelmistä. (Trimble 2016a, 1.) TSC3-maastotietokoneessa on Trimble Access-ohjelmisto. Maastotietokonetta käytetään yhdessä antennin kanssa esimerkiksi Bluetoothin avulla (Trimble 2016b, 1.)



### 3.3 Maaperäkaira

Maaperäkaira GM 75 GT on keskiraskas monitoimikaira. Kairan valmistaja on Geomachine Oy. Maaperäkairan avulla voidaan tutkia maaperän ominaisuuksia ja sillä voidaan ottaa maaperänäytteitä. GM 75 GT:llä voidaan tehdä seuraavia kairaustyylejä: painokaira, heijarikaira, puristinheijarikaira, porakonekaira, siipikaira, tärykaira ja näytteenotto. (Geomachine Oy 2016.) Opinnäytetyössä käytettiin painokaira ja porakonekaira tyylejä. Lisäksi otettiin häiriintyneiden näytteiden näytteenottoja.

#### 3.3.1 Painokaira

Kuormitustavaltaan staattisessa kairausmenetelmässä painokairauksessa kaira tungetaan maahan kiertämällä erisuuruksilla painoilla sitä kuormittamalla. Painokairaukset muodostavat perusaineiston maaperätutkimuksille. Painokairauksen kairausvastuksen perusteella voidaan arvioida maakerroksien rajat sekä maakerroksen tiiviys kitkamaakerroksissa. Painokairaan kuuluvat painosarja, tangot, liitostapit ja kärki. Lisäksi käsin tehtävissä painokairauksissa tarvitaan tankojen kiertämiseen tarkoitettua vääntövartta ja koneellisessa kairauksessa pyörityslaitetta. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1981, 4–6.)

Alkukairauksessa on tarkoituksena poistaa maan pinnassa olevan täytemaan, roudan sekä juurakkoisen pintakerroksen aiheuttama varsikitka. Alkukairauksen päättymissyvyys on merkittävä muistiinpanoihin sekä kairauspöytäkirjaan. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1981, 4.)

Monitoimikairat liikkuvat maastossa maastoajoneuvon tavoin. Kairauksissa tankoina käytetään yleensä 0 25 ja 32 millimetrin putkitankoja, mutta myös 0 22 millimetrin tankoja voidaan käyttää. Koneisiin säädetään yleensä automaattisesti yhden kilonewtonin kuormitus. Kairauksessa kone pyörittää kuormitettuja tankoja vakionopeudella. Yhtä kilonewtonia pienemmät kuormitukset saadaan keventämällä kuormitusta hydraulisesti. Kuormitus ja tunkeuma syvyys merkitään muistiin, kone voi kerätä tiedot myös automaattisesti piirturilla tai sähköisesti. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1981, 6.)

### 3.3.2 Porakonekairaus

Porakonekairauksen konekalusto sisältää porakoneen, syöttölaitteen, alustan sekä huuhtelulaitteen ja erilaisia apu- ja suojalaitteita. Nykyisin yleisesti käytössä oleva hydraulinen monitoimikaira, jossa on maanpinnalla isku- ja pyöritysosat. Reikä tehdään koneeseen liitettävien jatkotankojen ja porakruunun avulla. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1986, 3.)

Porakonekaira siirretään tutkimuspisteen kohdalle. Maan ollessa epätasaista syöttölaitteen alapään viereen lyödään maanpinnan tasoon juuripaalu, josta kairausvyvyys mitataan kairauksen aikana. Kairauspuomi asetetaan kairausasentoon. Kairatanko, jonka alapäähän on kiinnitetty sopivan kokoinen porakruunu, asetetaan syöttölaitteen kiinnitysleukojen väliin, jotka lukitaan. Kairatankoa pidetään pystyasennossa ja porakoneen niskakappale ajetaan varovasti tankoon kiinnitetyn liittimen sisään ja kiinnitetään pyöritysmekanismin avulla. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1986, 5.)

Paksuhkojen maakerrosten läpäisyssä käytetään yleensä vesihuuhtelua, jossa vesi johdetaan kairatankoihin tai suojaputkiin. Huuhteluveden määrä riippuu olosuhteista, mutta sen tulee olla mahdollisimman suuri, helpottaakseen paksujen maakerrosten läpipääsyä. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1986, 6.)

Porakonekairauslaitteistoilla voidaan ottaa näytteitä maasta ja kalliosta, sekä ne soveltuvat pohjaveden havaintoputkien asennukseen. Maakerroksista otettujen huuhtelunäytteiden merkitys on pääpiirteiltään eri maalajikerrosten rajojen määrittämisessä. Kalliosta näytteenotto tapahtuu tankokairauksen yhteydessä keräämällä talteen porasoija. Porasoijanäytteestä voidaan tehdä silmämääräisesti karkea kivilajimääritys ja näyte voidaan tutkia tarvittaessa laboratoriossa. Porakonekairauskalustolla voidaan ottaa myös häiriintymättömiä näytteitä muun muassa putkiottimen ja mäntäottimen avulla. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1986, 6.)

### 3.3.3 Häiriintyneiden näytteiden ottaminen

Peruslähtökohtana maa- ja pohjarakenteita suunniteltaessa on tutkia maalajien geoteknillisiä ominaisuuksia maanäytteistä. Laboratoriokokeilla analysoidaan näytteitä ja niistä pyritään saamaan mahdollisimman oikeita luonnonolosuhteita vastaavia tuloksia. Ennen varsinaisten näytteidenoton suunnittelua ja näytteenottoapaikkojen valintaa tulee selvittää tutkittavan alueen maaperän geologinen yleisrakenne. Yleisselvitys voidaan tehdä silmämääräisesti tai ilmakuvatulkintaa apuna käyttäen. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1984, 3.)

Yleiskuvan tarkentumiseksi tulee suorittaa geologisin perustein valituissa paikoissa kairauksia. Näitä esiselvitystietoja sekä määritellyn pohjavedenpinnan sijaintia apuna käyttäen, valitaan näytteenottoapaikat ja syvyudet, sekä käytettävät näytteenottomenetelmät. (Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1984, 4.)

Näytteenoton suorittamien tapahtuu näytteenottimella. Siten että monitoimikairan täryn ja kompressorin tuottamalla ilmalla painetaan näytteenotin haluttuun syvyyteen. Kun otetaan näyte, ilmaa ei enää syötetä näytteenottimeen vaan ajetaan näytteenotin täryn avulla määräsyvyyteen, jolloin maa-aines jää näytteenottimeen. Tämän jälkeen näytteenotin nostetaan ylös ja näytteenotin tyhjennetään sankoon ilmanpaineen avulla. Erityisen tärkeää on näytteenotossa olevien astioiden puhtaus, jotta näytteisiin ei pääse sinne kuulumattomia ainesosia. Sankoon tulleista maa-aineksista otetaan puhtaalla sopivan kokoisella lapiolla näytteet pusseihin, pusseihin tehdään tarvittavat muisiinpanot. Tarvittaessa otetaan uusi näyte seuraavasta syvyydestä. Pussiin laitettu näyte toimitetaan laboratorioon tarkempiin tutkimuksiin.

## 4 OHJELMISTOT

### 4.1 3D-Win

Suomalaisen 3D-System Oy:n kehittämä maanmittausalan ohjelmisto 3D-Win, jonka avulla käsitellään mittaus- ja paikkatietoaineistoja. (3D-system Oy, 2016a). 3D-Win on Windows-käyttöjärjestelmissä toimiva maastomittaustiedon jatkokäsittelyyn soveltuva ohjelmisto. Lisenssejä on käytössä niin oppilaitoksissa ja konsulteilla kuin julkisessa hallinnossa Suomessa ja muualla maailmassa. Ohjelma onkin saatavilla suomen, ruotsin ja englannin kielisinä versioina. Ohjelma soveltuu yhtäaikaaisesti useiden päällekkäisten vektori- ja rasterikuvaelementtien käsittelyyn, joita kutakin voidaan hallita tarvittaessa erikseen muuttamalla muun muassa symboliikkaa tai eri kohteita yksinkertaistaen tai korostaen. (3D-system Oy 2016b.)

3D-Win soveltuu mittalaitteiden tiedonsiirtoon, formaattimuunnoksiin, mittausaineistojen erilaisiin käsittelyihin, geodeettiseen laskentaan, tarkemittauksiin, karttatulosteiden valmistamiseen sekä ominaisuustietojen keräämiseen ja hallintaan. (3D-system Oy 2016b.)

### 4.2 QGIS

QGIS eli Quantum GIS on avoimen lähdekoodin paikkatietojärjestelmäsovellus, joka tukee useita käyttöjärjestelmiä, kuten Android, Linux, Mac OS X ja Microsoft Windows. QGIS on C++ ja Python -ohjelmointikielillä tehty paikkatieto-ohjelma, joka käyttöliittymältään muistuttaa hyvin paljon ArcView:ta ja MapInfoa. (Latuviita 2013; Siljander, Hurskainen & Finegold 2012, 18–19.) Ohjelmisto soveltuu muun muassa aineistojen visualisointiin, hallintaan, editointiin, analysointiin, karttatulostuksiin (Jokela, 2014). QGIS sisältää oman WMS-palvelinalustan sekä siinä on WMS- ja WFS-tuet. (Siljander, Hurskainen & Finegold 2012, 18–19.) QGIS käyttää oletus koordinaatistojärjestelmänä GPS-laitteiden käyttämää WGS84- eli tarkemmin EPSG:4326-koordinaatistojärjestelmää (Sarkola, P. 2016)

### 4.3 Road Doctor<sup>®</sup>

Road Doctor<sup>®</sup> -ohjelmisto on Roadscanners Oy:n valmistama ohjelmisto väylätutkimuksiin, joita ovat esimerkiksi tiet, kadut, junaradat ja sillat, sekä niiden kuntoanalyysien ja rakenteenparantamisen suunnittelu tarpeisiin. Sen avulla voidaan käsitellä monia eri tavalla tehtyjä mittauksia, kuten maatutkadatan tulkintaa. Lisäksi voidaan muodostaa tutkimustuloksien analyysijä, hallintaa ja korjaussuunnittelua. (Roadscanners Oy 2016.)

Muista ohjelmaversioista Road doctor designer- ja Road doctor viewer-versiot ovat tulkitun maatutkatiedon hyväksikäyttäjälle. Näistä versioista puuttuvat mittaustiedon prosessointiin ja tulkintaan liittyvät ominaisuudet. Geo doctor sekä Haescan-versiot on maatutkatutkimuksiin suunniteltuja ohjelmistoja ja niissä ei ole kantavuusmittaustiedon lukua tai rakenteen parantamiseen suunniteltuja toimintoja. Jokaiselle tulkitulle pinnalle annetaan kerroskoodi, johon liitetään tiedot rajapinnan sekä kerroksen nimestä ja rajapinnan yläpuolisen kerroksen dielektrisyysarvosta ( $\epsilon_r$ ), jonka avulla ohjelma laskee tulkitun rajapinnan syvyyden. Ohjelmaan on mahdollisuus kirjata ja liittää maatutkadataan erilaisia tulkinnan aikana tehtyjä havaintoja. Ohjelmassa on referenssieditori, jolla voidaan liittää projektiin referenssipisteet, kuten kairauspisteet. Ne voidaan esittää erillisenä ikkunana, liittää maatutkadataan tai tulkinnan päälle piirrettynä. (Roadscanners Oy, 8-10,12,14.)

### 4.4 Tekla BIMsight

Rakennusprojektien kokonaisvaltainen tarkastelu ja ongelmien ratkaisu onnistuu ammattikäyttöön tarkoitettulla Trimblen Tekla BIMsight - työkalulla. Internetistä ilmaiseksi ladattavalla BIMsight:lla voidaan yhdistää rakennusprojektin osapuolet ja jakaa tietoa BIM-ympäristössä. BIM - teknologialla eli Building Information Modelling tarkoitetaan digitaalisesti rakennuksesta luotavaa, todellisuutta vastaavaa virtuaaliamallia. (Trimble 2016c.)

## 5 TYÖN SUORITTAMINEN JA SEN TULOKSET

### 5.1 Mittausten suunnittelu

Työn suuren laajuuden vuoksi oli tärkeää aluksi suunnitella mittausjärjestys. Alueella tehdyt referenssikairaukset tuli sisällyttää myös mittausjärjestykseen. Maatutkamittauslinjat oli sijoitettava siten, että niistä saatiin paras mahdollinen hyöty irti. Niiden tarkoituksena oli saada tieto kalliopinnasta, joka vaikuttaa rakennuskustannuksiin. Mittauksissa osa-alueet olivat: tiealueet, rakennukset, tutkalinjat ja kairapisteet.

Tiet mitattiin, merkittiin ja tutkattiin ensimmäisenä, seuraavaksi tulkittiin maatutkadata. Tämän jälkeen määriteltiin kairapisteet ja ne merkittiin maastoon, jotta itse kairaukset voitiin aloittaa. Kairauspisteiden kairauksiin tiedettiin kuluvan runsaasti aikaa, joten niiden kairaaminen haluttiin aloittaa mahdollisimman nopeasti. Kairaustulosten perusteella tehtiin tarvittavat muutokset suunniteltuihin tie- ja rakennuslinjoihin.

Maastoon mitattiin linjat, joita pitkin maatutkaa vedettiin. Paalujen kohdat merkittiin ja niillä saatiin kyseinen kohta maastosta sidottua myös maatutkatiedostoon. Maatutkalinjat sijoitettiin kulkemaan lähellä tien keskilinjaa. Tällä tavalla saatu tieto mahdollisesta kalliosta voitiin hyödyntää molemmin puolin tietä. Sama koski myös mitattuja rakennusten pohjia, joissa vastaavasti maatutkalinjat sijoitettiin mahdollisuuksien mukaan talon keskelle.

Maastomallin mittauksissa kartoitettiin maanpinta ja mahdolliset avokalliot. Kairapisteiden sijoittelulla pyrittiin kartoittamaan mittausalue mahdollisimman laajasti ja niiden kuului olla maatutkalinjalla. Näin saatiin referenssitieto maatutkakselle mahdollisesta kalliopinnasta. Tiealueilla tehdyt kairaukset olivat porakonekairauksia. Lisäksi kairattiin jokaisen rakennuksen kulmapaalujen sisään maatutkalinjalle yksi porakonekairaus, mahdollisen kallion varalta. Osaan rakennuksista tehtiin myös painokairauksia ja näytteenottoja, joiden tarkoituksena oli saada tietoa parhaasta rakentamistavasta. Taustaprojektiin kuului myös perustamistapalausannon tekeminen.

Edellä mainittujen kairapisteiden läheisyyteen tuli lisäkairauksia, tilanteissa joissa kallio löytyy läheltä pintaa tai sitä ei löytynyt ollenkaan. Tai painokairoissa ei päästy vaadittuun määrää syvyyteen.

## 5.2 Yleistä mittauksista

Maastotyöt aloitettiin vuoden 2015 marraskuussa. Viimeiset mittaukset ja kairaukset suoritettiin helmikuussa 2016. GPS-mittauksissa olivat mittaajina Hannu Palo ja Teemu Leino. Maatutkamittauksissa mittaajina toimivat Hannu Palo ja Terhi Seppänen. Kairaukset suoritti kairamies Kari Mononen, Hannu Palon ollessa apumiehenä. Kaikki edellä mainitut henkilöt työskentelivät Road Consulting Oy:ssä.

Kaikissa GPS-mittauksissa koordinaattijärjestelmänä käytettiin ETRS-GK 26 ja korkeusjärjestelmänä oli N2000. Mittauslaitteena oli Trimblen R8 GNSS-antenni ja TSC3-tallennin, joka on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. GPS-mittauslaitteisto. (Kuva Terhi Seppänen)

Maatutkamittauksissa käytettiin GSSI:n valmistamaa Sir-4000 maatutkaa varustettuna 270MHz:in maavasteantennilla kuviossa 2.



Kuvio 2. Maatutka Sir-4000 varustettuna 270MHz:n maavasteantennilla. (Kuva vasemmalla Terhi Seppänen, oikealla Hannu Palo)

Mittausarvoina käytettiin seuraavia:

- Dielektrisyys 5,0
- Range 100 - 120 ns
- Samples per scan 512
- Scans per second 120.

### 5.3 Mittaukset maastossa

Mittauspaikka on osittain vaikeakulkuista hyvin puustoista metsää, osittain alueella on avokallioita ja isoja kiviä sekä suuria korkeuseroja. Mittauksissa GPS:llä merkittiin teiden keskilinjat 20 metrin välein laittamalla puupaalut. Tien läheisyydestä mitattiin maanpinta lähtöaineiston maastomallin tueksi ja oikeellisuuden toteamiseksi. Maastoon merkittiin tutkalinjat ja markkerointi paalutus. Lisäksi maastoon merkittiin kairapisteet.

Maatutkamittausten osalta mitattiin merkityt tiet ja rakennusten pohjille sijoitetut maatutkalinjat. Mittaukset suoritettiin pieneltä osin kuvion 2 kärryillä. Suurin osa maatutkamittauksista suoritettiin kuvion 2 pulkalla suoraan lumen päältä. Mittauksissa lumen paksuus oli 20 senttimetristä 40 senttimetriin. Mittaukset suoritti pääasiassa Hannu Palo. Mittausten laatua valvoi mittaustöidenjohtaja Teemu Leino maanmittausinsinööri (AMK). Mittauksia tehtiin useampaan otteeseen tilaajan muutoksista johtuen. Osa mitatuista teistä ja tonteista jäi pois lopullisesta projektista.



#### 5.4 Maaperätutkimukset monitoimikairalla

Kairaukset suoritettiin pääosin tie kerrallaan siten, että kyseiselle tielle tehtävät kairaukset pyrittiin tekemään peräkkäin. Pohjatutkimuksissa oli kahdeksan kappaletta painokairauksia, 50 kpl porakonekairauksia ja kolme kappaletta näytteenottosarjoja, niistä toimitettiin kaksi näytettä laboratorioon tarkempiin tutkimuksiin.

Painokairaukset sijoituivat rakennusten pohjien kohdille. Näiden avulla voidaan antaa perustamistapalausunto. Porakonekairauksilla haluttiin saada tietoa kalliion pinnasta. Porakonekairauksien syvydet määräytyivät, siitä kuinka paljon kyseisestä paikasta täytyy leikata maata pois, eli mitä syvemmälle joudutaan leikkaamaan, sitä syvemmälle täytyi porakonekairaus tehdä. Kalliovarmistus oli 1,5 metriä, mikäli kalliion pinta löytyi ennen määräsyvyyttä.

Näytteenottosarjat määritteli geologi ja ne otettiin tiealueilta edustavista paikoista. Näytteenottosarjat olivat metrin välein ja näytteitä otettiin joka pisteeltä kahdesta neljään kappaletta. Yhteensä kaksi näytettä toimitettiin laboratorioon tutkittaviksi. Lisäksi pohjatutkimuksien yhteydessä tehtiin viisi näytteenottosarjaa, jotka eivät vaikuta opinnäytetyöhön ja ne on jätetty tässä työssä huomioimatta koska ne on tehty rakennusten perustamistapalausuntoja varten. Laboratorioon viedyistä näytteistä tutkittiin rakeisuus, vesipitoisuus ja routivuus. Rakeisuudesta määriteltiin näytteen maalaji.

Kuviossa 3 suoritetaan porakonekairausta monitoimikairan avulla. Samasta pisteestä otettiin myös näytteitä häiriintyneistä maista. Näytteenotto suoritettiin heti porakonekairauksen jälkeen.

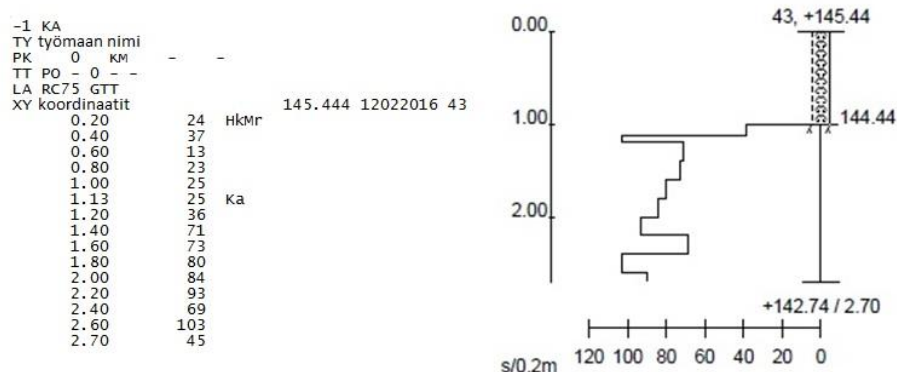


Kuvio 3. Monitoimikaira GM 75 GT

## 5.5 Mittaustulosten käsittely

### 5.5.1 Kairaustulosten käsittely

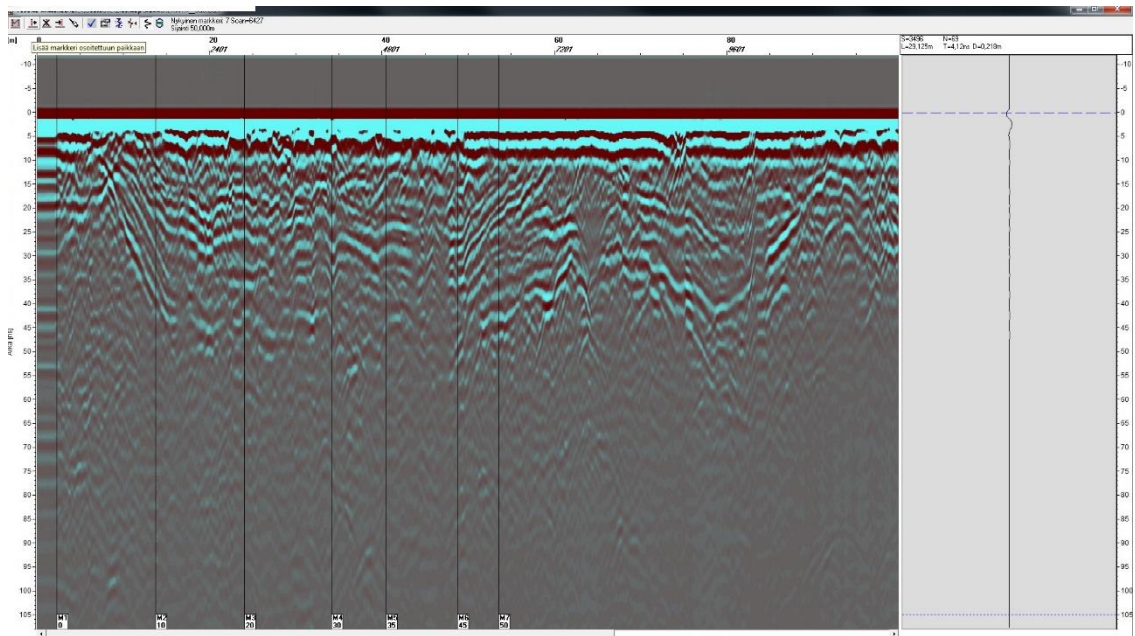
Kairaustuloksia käsiteltiin 3D-Winissä, joissa kairaustekloista muodostettiin kairausdiagrammit. Esimerkkinä käytetään kairapistettä 43, jossa maanpinnasta noin yhden metrin syvyyteen (0,0-1,13 m) maalaji on hiekkamoreenia (HkMr). Tästä syvyydestä 2,70 metriin on kalliota (Ka), tähän kohtaan on tehty 1,57 kaliovarmistus porakonekairauksen avulla. Kuviossa 4 on esitetty edellä kuvatut asiakirjat ja opinnäytetyön lopussa liitteinä 1-20 on kairausdiagrammit.



Kuvio 4. Vasemmalla kairaustekla ja oikealla kairausdiagrammi kairapistestä 43.

### 5.5.2 Maatutkamittausten käsittely Road Doctor® -sovelluksella

Maatutkatiedostot käsiteltiin seuraavassa järjestyksessä. Työlle luotiin oma projekti. Luodaan linja, johon alkuperäinen maatutkatiedosto 001.DZT-tiedosto avattiin ja tarkasteltiin. Kuviossa 5 on esitetty tiedoston mittakaavan tasoitus. Mittakaavan tasoituksen apuna käytettiin maatutkatiedoston pyyhkäisy-tiedostoa (pyyhkäisy/m) sekä markkereiden välistä etäisyyttä metreinä (m), jolloin saatiin oikeat kohdat paalutukselle. Mittakaava on tasoitettu manuaalisesti, koska ohjelma ei tunnistanut markkereita automaattisesti. Eri markkerit asetettiin manuaalisesti yksitellen. Jaksot valitaan graafisesti näytöltä klikkaamalla.



Kuvio 5. Road Doctor® -sovelluksessa näkyvillä mittakaavan tasoitus

Tästä syntyy uusi 001S.DZT-tiedosto. Tämä uusi maatutkadata linkitettiin kyseiseen linjaan. Koordinaatit lisätään seuraavassa vaiheessa. Koordinaatit lisättiin sen vuoksi, että myöhemmässä analysointivaiheessa saatavat kalliopinnot voidaan siirtää koordinaattien avulla 3D-Winiin, jossa voidaan luoda kalliopinnoista oma malli.

Referenssipisteitä luotaessa pisteelle annetaan kairapisteen nimi. Kairapisteen etäisyys eli paalu, syötetään maalajien määrä, nimetään maalajit, annetaan maalajien syvyydet, sekä määritellään mahdollinen kalliopinta. Syötetyt tiedot näkyvät tutkadatikkunassa analyysivaiheessa. Referenssitiedosto linkitetään

samaan linjaan mihin maatutkatiedostokin. Kuviossa 6 näkyy referenssitiedoston luonti. Kyseisessä pisteessä 43 on kalliopinta löydetty 1,13 metristä. Kallio varmistus on 1,57 metriä. Piste 43 on kairattu tie8:n paalulta 35,5 metriä. Kuviossa 7 on näkyvillä alkuperäinen maatutkadata, johon on lisätty referenssipisteet. Kuvioon 7 dataan ei ole tehty mitään muokkauksia.

Referenssitiedoston luonti

Piste 1

Pisteen numero: 43 Kuvaus

Etäisyys: 35.5m

Sivuetäisyys: 0m

LI-koordinaatti: 0m

EP-koordinaatti: 0m

Korkeus [Z]: 0m

Menetelmä: [ ] Näytämäärä: 2

Määrittele sijainti nyky. pisteelle linjasta perustuen WE- ja SN-koordinaatteihin

Lue tiedostosta

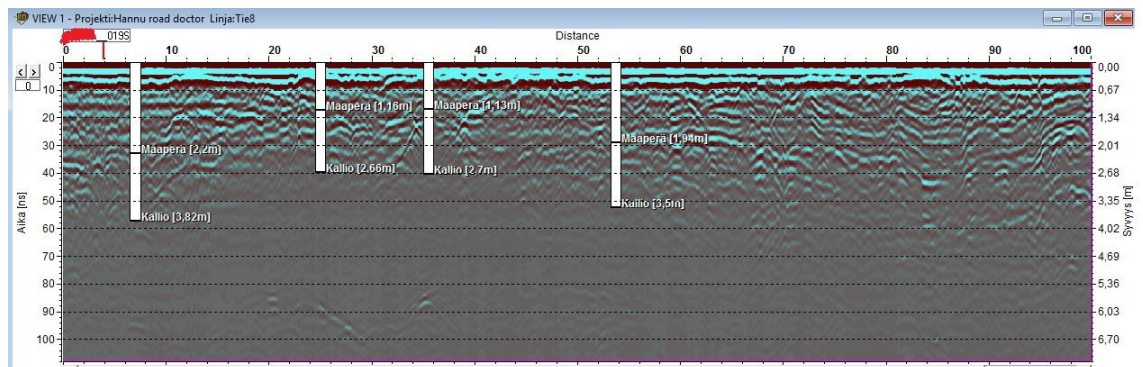
Käytä paikkatiedostoa (.pol) (km.m, km+m, mi+ft)

Matkaerotin välim. + [ ]

Numero	Nimi	Koodi	Piirtokood	Syvyys	Paksuus	Er-arvo	Kuvaus
1	Maaperä	91	1	113cm	113cm	5	HkMr
2	Kallio	201	2	270cm	157cm	5	Ka

Tallenna muutokset    Peruuta    Edellinen    Seuraava    Uusi piste

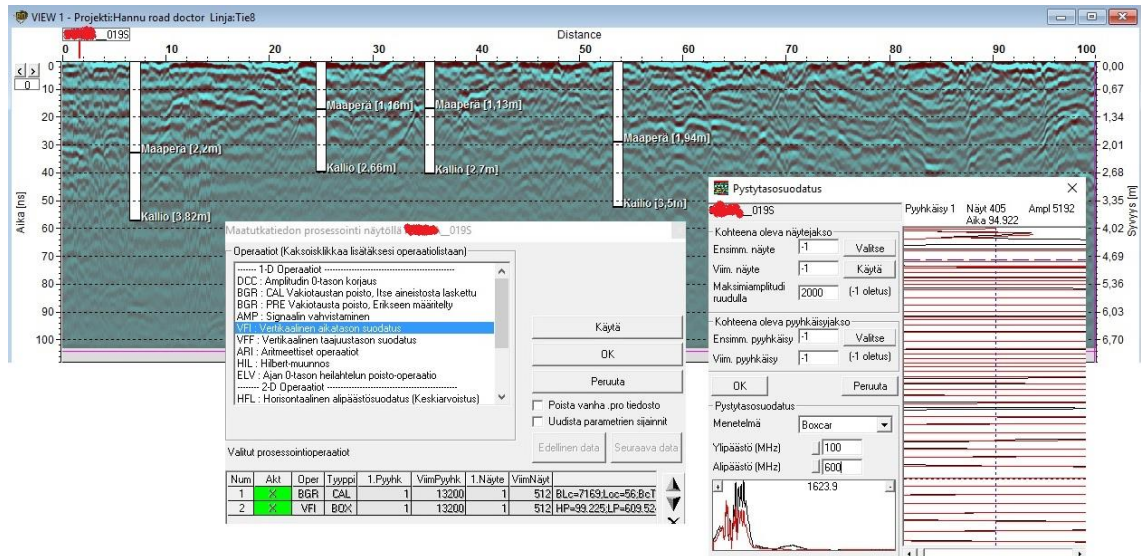
Kuvio 6. Road Doctor<sup>®</sup> referenssitiedoston luonti kairapisteelle 43



Kuvio 7. Tie8:n alkuperäinen maatutkadatalinja

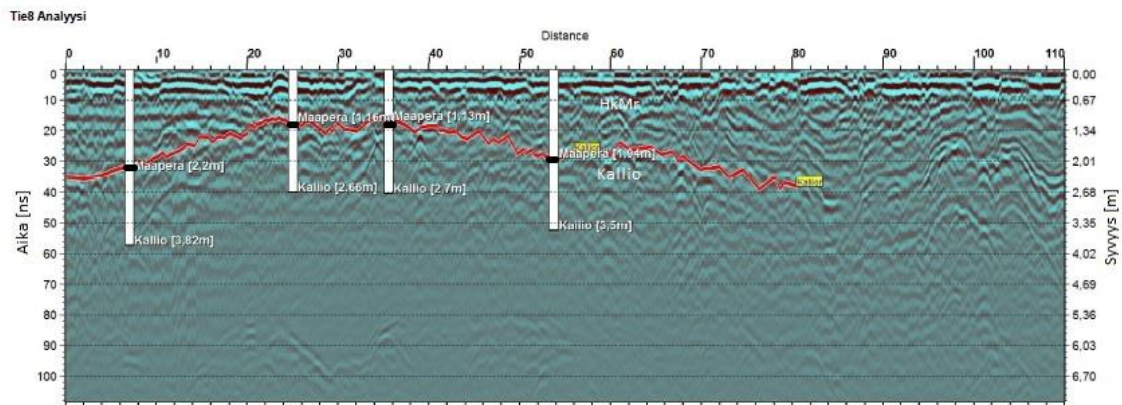
Tämän jälkeen suoritettiin vakiotaustan poisto ja vertikaalisen aikataason suodatus. Vertikaalisuodatuksessa poistetaan kaistanpäästösuodatus taustakohinan ja satunnaisten korkeataajuisien häiriöiden poistamiseksi annetussa aikaikkua-

nassa, taajuudelle annettujen ala- ja ylärajojen mukaisesti. Kuviossa 8 on esimerkissä tie8 käytetty ylipäästörajana (alin arvo) 100 MHz:iä ja alapäästörajana (ylin arvo) 600 MHz:iä. Kuviossa 8 on maatutkadatasta vakiotaustan poisto ja vertikaalinen aikatazon suodatus. Kuvioista nähdään kuinka paljon datan suodatus vaikuttaa alkuperäiseen datan selkeyteen (kuvio 7).



Kuvio 8. Vakiotaustan poisto

Maatutkadatan tulkinta on tutkadatan ja referenssipisteiden avulla tehtävää datan tulkintaa, analysointia. Tulkinassa maatutkadatasta etsitään kalliopinnan heijastetta eli rajapintaa. Kuviossa 9 on punaisella viivalla tulkittuna kalliopinnan taso (rajapinta) referenssipisteitä apuna käyttäen.

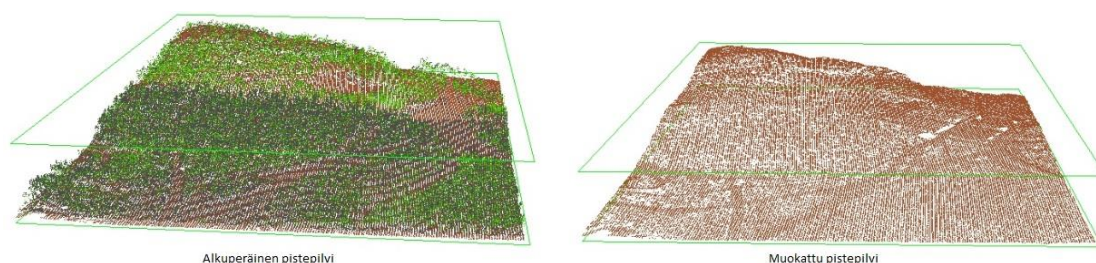


Kuvio 9. Maatutkadatan tulkinta

Tulkinnan jälkeen saatiin kalliopinnan sijaintitieto koordinaateilla ja siitä muodostettiin excel-taulukko, joka siirrettiin 3D-Winiin. Tämän jälkeen käsittely jatkui 3D-Winillä.

### 5.5.3 GPS-mittausaineiston käsittely 3D-Win sovelluksella

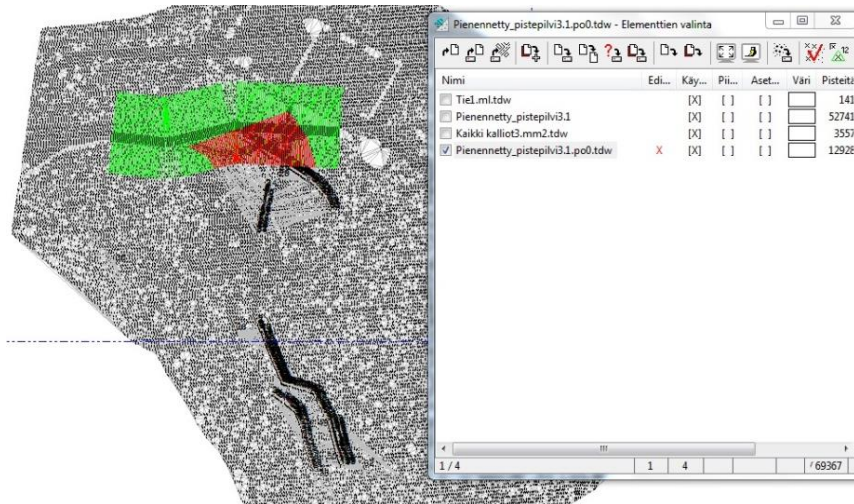
Ennen varsinaista 3D-Winin käyttöä suoritettiin QGIS:n avulla muutamia pieniä muokkauksia laserkeilausaineistoon, ja laserkeilausaineisto varmennettiin omilla mittauksilla. QGIS sovelluksen LAStools toiminnon avulla poistettiin valmiista laserkeilausaineistosta ylimääräisiä pintoja, kuten pensaat, puut ja luokittelemattomat pisteet. Kuviossa 10 on esitetty alkuperäinen ja muokattu pistepilvi.



Kuvio 10. Laserkeilausaineiston pistepilvi

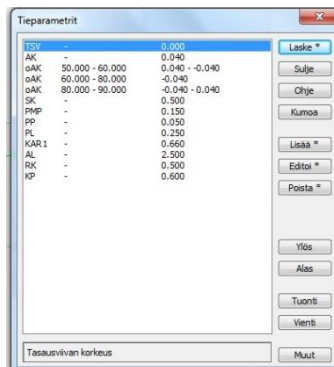
3D-Winissä ensimmäisenä rajattiin lähtöaineiston asemakaavakuvasta aluetta pienemmäksi ja siitä poimittiin avokallioiden sijainnit. Avokallioiden sijaintien kohdalta poimittiin laserkeilausaineiston puhdistetusta pistepilvestä avokallioiden vastaavat sijainnit ja korkeudet. Tästä muodostettiin avokalliot tiedostot. Maatutkadatojen käsittelyn avulla saadut kalliopinnot siirrettiin omiksi tiedostoiksi. Lisäksi kairaustulosten kalliopinnot poimittiin kalliopinnoittain omiksi tiedostoiksi. Kaikki edellä mainitut kalliopinnot yhdistettiin samaksi ”kaikki kalliot”-tiedostoksi.

Työssä käytettiin valmiita tiegeometriatiedostoja, jotka saatiin lähtötietojen mukana. Tiegeometriaan kuuluu vaaka- ja pystygeometria. Keskilinjasta muodostettiin mittalinja. Kuviossa 11 on muodostettu poikkileikkaus tie1:n keskilinjasta kalliopintojen ja pistepilven avulla.



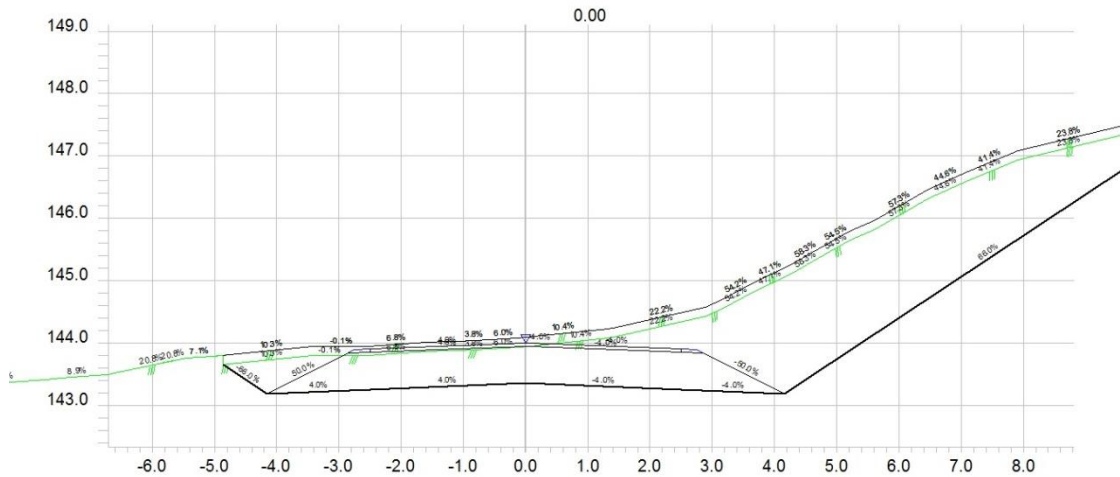
Kuvio 11. Poikkileikkauksen tasot

Rakennesuunnittelussa annettiin tien parametrit jonka mukaan luodaan profiili. Parametreihin syötettiin ajoradan leveys, tien reuna, piennar, päällysteen paksuus, kantavan kerroksen paksuus, sivukaltevuus, sisäluiska, ulkoluiska ja pintamaan poisto. Kuviossa 12 on malli parametrien rakentamisesta tielle1.



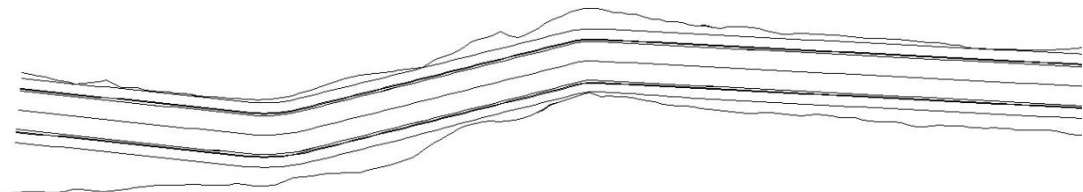
Kuvio 12. Tie1:n tieparametrit

Laske toiminnon avulla laskettiin parametrien avulla poikkileikkaukset, jota tarkastelemalla saadaan kuvion 13 esittämä tien poikkileikkaus paaluittain. Kuviossa 13 on näkyvissä paalulukema nolla.



Kuvio 13. Tie1:n poikkileikkaus

Poikkileikkausten tarkastelujen ja oikeaksi todettujen arvojen jälkeen voitiin muodostaa kartta ja uusi xy-tiedosto. Kuviossa 14 on malli uudesta kartasta, jossa on näkyvillä keskilinjan lisäksi myös kantit ja luiskien viivat.



Kuvio 14. Malli parametrin avulla rakennetusta tie kartasta.

Kuvion 14 tiedostosta poimitaan omiksi tiedostoiksi kantava kerros, kaikki pinnat ja leikkaukset. Näistä luodaan omat mallit ja ne kolmioidaan. Kyseiset pinnat viedään BIM-järjestelmään dwg-muotoisina.

## 5.6 Tietomallin tarkastelu Tekla BIMsightilla

Tietomallia tarkasteltiin Tekla BIMsightin avulla luomalla uusi projekti ja kaikki tarvittavat dwg-tiedostot tuotiin projektikansioon. Tämän jälkeen aloitettiin tietomallin tarkastelu. Jokaiselle tasolle annettiin oma väri, värien avulla eri pinnat on helpommin hahmotettavissa. Tässä opinnäytetyössä käytetään:

- Maastomalli oranssi väri
- Kalliopinnoissa punainen väri



- Tien pinnoissa musta väri
- Kantavankerroksen pinnoissa cyan väri
- Leikkauspinoissa vihreä väri.

Aluksi tarkasteltiin maastomallia ja kalliopintoja, kuvioista 15 nähdään, että oranssi väri kuvaa maastomallia ja punainen väri kalliopintaa. Tarkastelussa selviää, että avokallioita esiintyy vain muutamissa kohdissa ja ne ovat todella pieniä alueita. Kuvioista 15 avokallioita ei voida havaita.



Kuvio 15. Maastomalli ja kalliopinnat

Kuviossa 16 on esillä maastomalli ja kaikkien teiden pinnat. Kuviossa nähdään selvästi miten valmis tien pinta tulee sijoittumaan nykyiseen maanpintaan nähdessä. Kuviossa oranssin värin mennessä mustan värin päälle on valmiin tien pinta jäämässä nykyisen maanpinnan alapuolella. Eli rakennusvaiheesta tästä kohtaa on maanpinnasta leikattava maata pois, jotta tie pystytään rakentamaan annettujen tieparametrien mukaan. Kohdissa, missä musta tien pinnan väri menee oranssin maastomallin päälle tarkoittaa, että valmiin tien pinta on nykyisen maanpinnan yläpuolella. Näissäkin tapauksissa voidaan, silti joutua leikkaamaan, että tiehen saadaan tieparametrien mukaiset kerrokset. Tarvittavat leikkauspinnat esitetään kuviossa 17.



Kuvio 16. Maastomalli ja kaikkien uusien teiden pinnat.

Kuviossa 17 on näkyvillä maastomallin ja tien pintojen lisäksi myös leikkauspinnat. Kuviossa esitetään kuinka paljon suunnittelualueen maastoa on leikattava tai vastaavasti kuinka paljon maastoon on lisättävä täyttömaata ja tien rakennekerroksia.



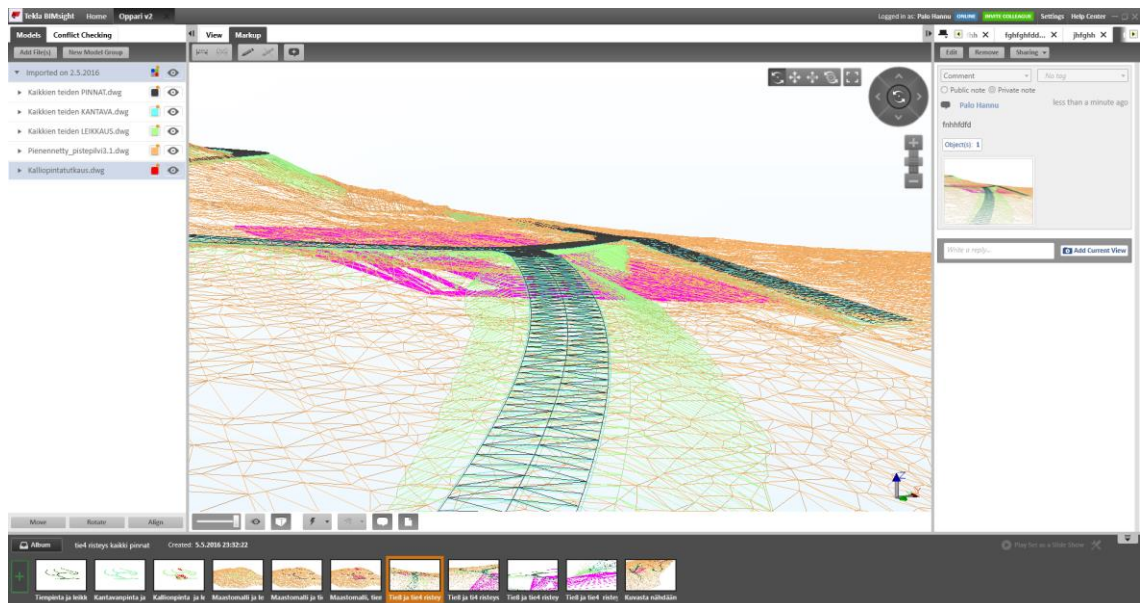
Kuvio 17. Maastomalli, tien pinnat ja leikkauspinnat.

Lisäämällä vielä kalliopinnat mukaan saadaan kokonaiskuva alueesta. Kuviossa 18 on maastomalli, tien pinnat, leikkauspinnat sekä kalliopinnat. Kuvioista on helppo hahmottaa miten tiet menevät kallioalueiden läpi.



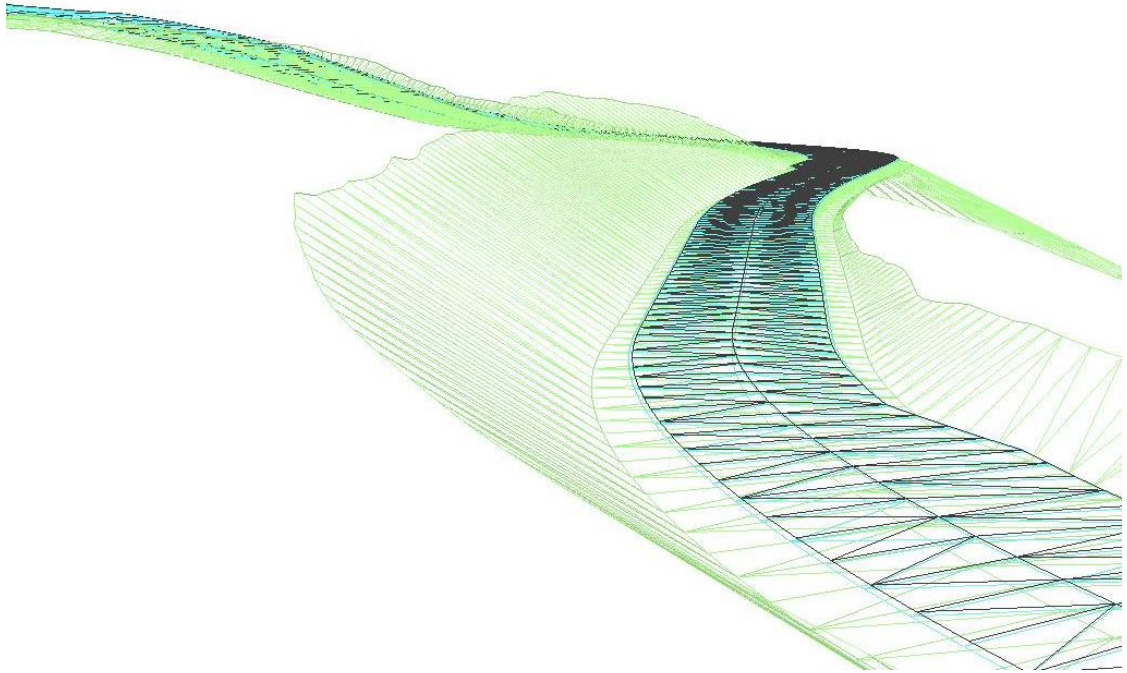
Kuvio 18. Maastomalli, tie-, leikkaus- ja kalliopinnat.

Kuviossa 19 on työpöytäkuvä Tekla BIMsightista, jossa on esitetty tie8:n ja tie4:n risteysalue, sekä kaikki mahdolliset pinnat. Lisäksi kuvion alaosassa on näkyvillä tallennettuja näkymiä malleista.



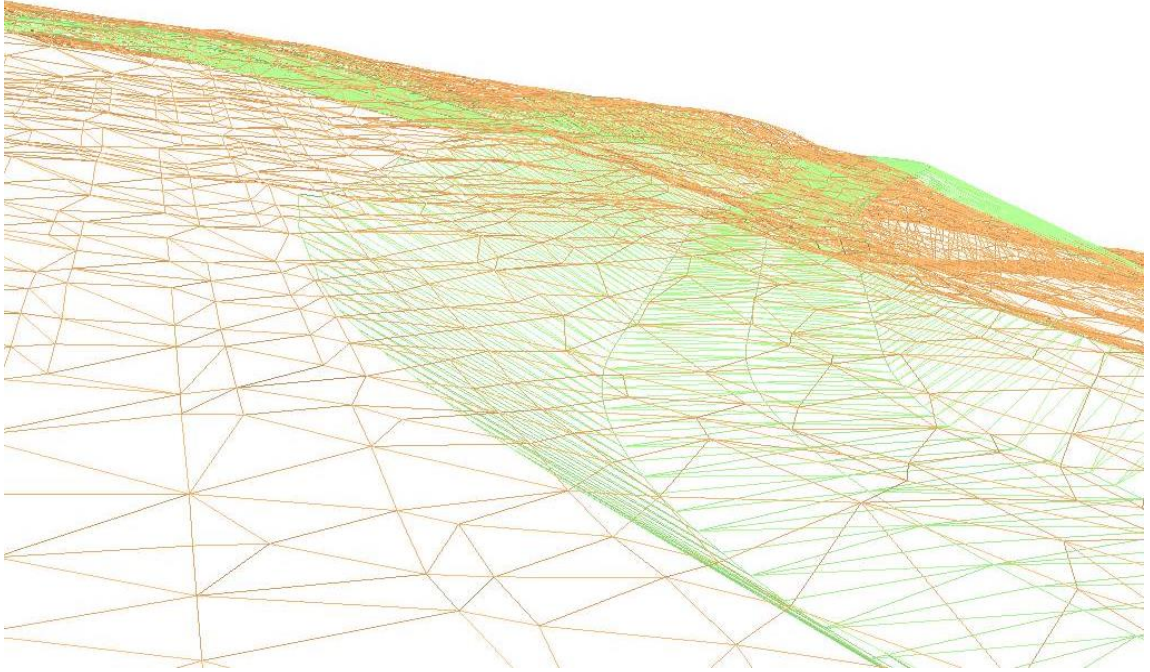
Kuvio 19. Tekla BIMsight sovelluksen työpöytä näkymä.

Kuviossa 20 on tie8:n profiili, josta nähdään miltä valmis tie näyttää. Vasemmalla puolella tie on koko matkalta leikkauksessa. Kuvion oikealla puolella alareunassa on leikkausta ja yläreunassa on paljon täyttöä.



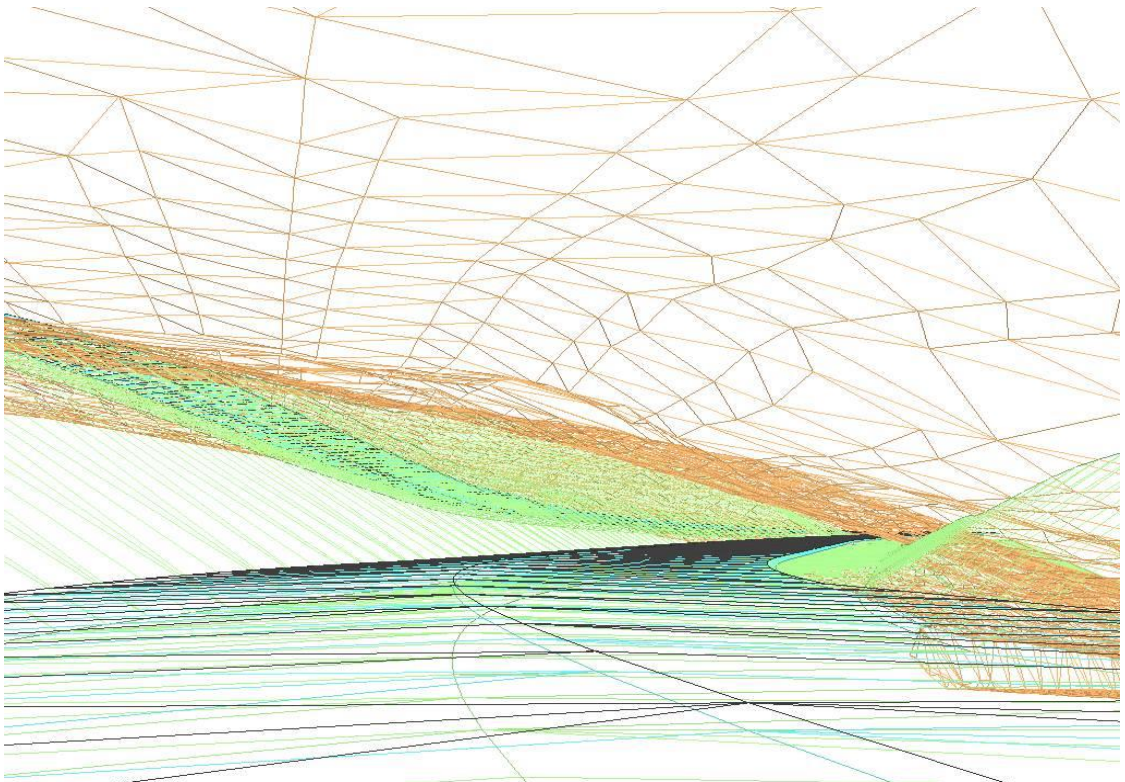
Kuvio 20. Tie8:n profiili

Kuviosta 21 nähdään kuinka paljon valmiin tien leikkauspinta on nykyisen maanpinnan alapuolella. Lisäksi nähdään, että kohde on tässä esimerkki kohdassa sivukaltevassa jyrkässä rinteessä.



Kuvio 21. Tie8:n leikkauspinnan ja maastomallin profiili.

Kuviossa 22 on zoomattu tasojen väliin. Kuvan alaosassa on tien pinta, kantava ja leikkauspinta. Yläosassa nähdään oranssi verkko, joka kuvaa nykyistä maanpintaa.



Kuvio 22. Tie8:n tien pinnan, kantavan pinnan, leikkauspinnan ja maastomallin profiili

## 5.7 Tulokset

### 5.7.1 Tulokset maastotöiden osalta

GPS-mittausten osalta voidaan todeta, että mittaukset on suoritettu hyvien mitaustapojen mukaisesti. Mittaukset ovat olleet luotettavia ja mittaus laatu on varmennettu päivittäin tehdyillä tarkemittauksilla. Mittauslaitteen tarkkuutta on seurattu kiintopistemittausten avulla. Mittaustarkkuus on ollut riittävä.

Maatutkamittaukset on suoritettu suurimmaksi osaksi lumipeitteen päältä. Lumien paksuus on vaihdellut 20 – 40 cm välillä. Mittaustuloksista on pystytty havaitsemaan maanpinta ja lumikerroksen paksuus on pystytty määrittelemään tutkadatasta. Mittauksissa ei ollut mahdollista käyttää survey wheel ominaisuutta alueen haastavuuden vuoksi, joten mittaukset on suoritettu free run ominaisuudella. Tästä syntyneet epätasaiset hetket mittausvaiheessa on pystytty suodattamaan ja poistamaan hyvien muistiinpanojen avulla. Lisäksi markkereiden tiheys 20 metrin välein on ollut riittävän tiheä. Maatutkamittauslinjoille on tehty riittävästi referenssikairauksia. Linjamittausten, markkereiden ja referenssikairauksien avulla voidaan todeta, että laatu on täytynyt maatutkamittauksissa.

Pohjatutkimukset monitoimikairalla on tehty SGY:n eli Suomen Geoteknillisen yhdistyksen ohjeiden mukaisesti. Kairaukset on suorittanut henkilö, jolla on maaperätutkimusten pätevyitysmiskoulutus ja on osoitettu päteväksi käyttäjäksi. Lisäksi hänellä on yli 30 vuoden kokemus pohjatutkimuksista. Alueelle suoritettut porakone- ja painokairaukset sekä näytteidenotto on ollut laadukasta.

### 5.8 Tulokset aineistojen käsittelyssä

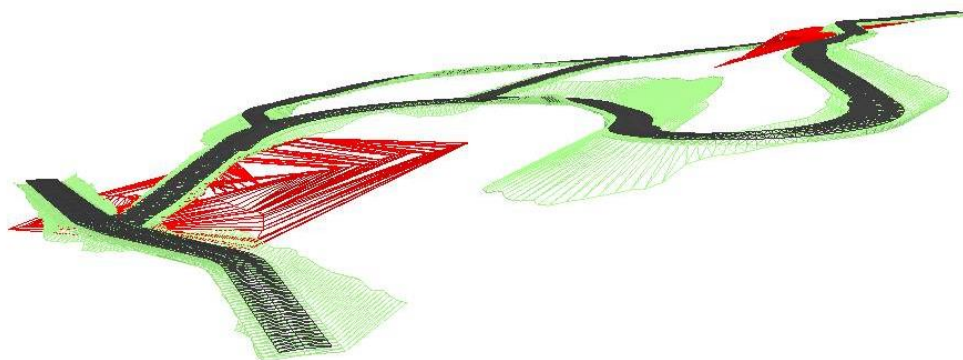
Aineistojen käsittely sujui Road Doctor<sup>®</sup> -ohjelmiston osalta täysin opetellessa ja osa ohjelmistolla tehtävistä asioista täytyi tehdä uudelleen yhä useamman kerran ennen kuin analyysit olivat riittäviä. Perus ohjelmistokäsittelyn opetteluun jälkeen tulkintaa tehdessä kalliopinnan havainnointi tutkadatasta oli haasteellista. Tekemäni kalliopinnan syvyys määrittely tutkadatasta on lähellä oikeaa kalliopintaa. On kuitenkin tärkeää muistaa, että se on kuitenkin vain tulkkaajan tulkinta.

Arvioni kalliopinnasta on kuitenkin lähellä todellista kalliopinnan syvyyttä ja pintojen määrittelyssä käytettiin apuna referenssikairausten tietoja. Tulkitsemiani kalliopinnan syvyystasot siirrettiin 3D-Winiin, jossa ne käsiteltiin tulkitsemillani kalliopinnantasoina eli korkeuksina.

3D-Win käsittelyt sujuivat mielestäni hyvin. Opin paljon uutta myös 3D-Winin käytöstä opinnäytetyön edetessä. Sain yhdistettyä kaikki kallopinnat yhdeksi ja samaksi tasoksi. Ne koostuivat avokallioista, jotka poimin pintamallista, kairaus-tekloista poimituista kallion pinnoista sekä tutkadataan tehdyistä tulkinnoista saaduista kallion pinnoista.

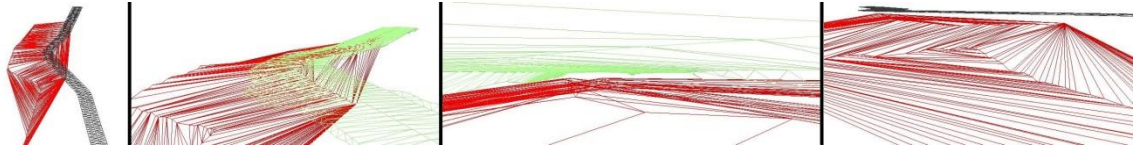
Sain muodostettua keskilinjän avulla tieparametrit rakennesuunnittelussa lähtötietoja apuna käyttäen, kuten tiehen halutut parametrit. Näitä olivat muun muassa leveys, kaltevuus ja päällysteen paksuus. Poikkileikkaus tiedostoista saatiin luotua kartat, joista poimittiin tietoja BIM:ä varten, kuten tien pinnat, kantava kerroksen pinnat ja leikkauspinnat. Kyseiset pinnat vietiin dwg-muodossa BIM:in.

Tekla BIMsight käsittelyt sujuivat opetellessa. Ohjelman avulla tarkastelin tietomallin maastomallia, kalliopintoja ja tien rakenteita, virtuaalisesti ilman rakennuksia tai puustoa. Sain tuotettua ohjelmalla tulosteita, jotka ovat kolmiulotteisia. Kuviossa 23 on esitetty kaikkien teiden pinnat, leikkauspinnat ja kalliopinnat. Kuvioista nähdään kuinka suuret korkeuserot teiden välillä on.



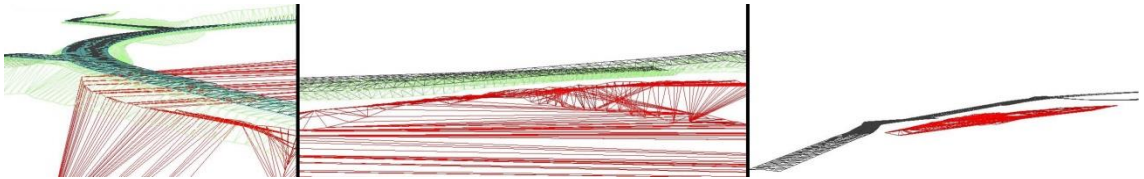
Kuvio 23. Kaikkien teiden pinnat, leikkauspinnat ja kalliopinnat

Kuviossa 24 on tutkittu tien3 pintoja kalliopintaan nähden. Todettiin, että kallio-pinta ja tienleikkauspinta eivät leikkaudu toisiinsa nähden, vaikka ne ovatkin paikoin lähellä toisiaan. Voidaan todeta, ettei kalliopinta vaikuta tien rakentami- seen vaikka se kulkee lähellä leikkauspintaa.



Kuvio 24. Tie3:n kalliopintojen tarkastelu

Kuviossa 25 on tutkittu tie8:n tiepintoja kalliion pintaan nähden. Voidaan myös todeta etteivät edellä mainitut pinnat kohtaa toisiaan. Myös tie8:n kohdalla voi- daan todeta, ettei kalliion pinta vaikuta tien rakentamiseen.



Kuvio 25. Tie8:n kalliopintojen tarkastelu.



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön sijainti ja alkuperäinen projekti ovat salaisia, näihin syihin vedoten sijainti jää paljastamatta. Opinnäytetyön mittaukset ja kairaukset suoritettiin vuoden 2015 marraskuun ja vuoden 2016 helmikuun välisenä aikana. Tietojen käsittely aloitettiin myös marraskuussa 2015 ja se jatkui aina toukokuuhun 2016 saakka. Kirjallisen työn aloitin tammikuussa 2016 ja se jatkui toukokuuhun 2016 saakka.

Eri aineistoista saadut kalliopinnat saatiin yhdistettyä maastomallin pintamalliin onnistuneesti. Kallion pintatietoa voitiin hyödyntää myöhemmässä vaiheessa, jossa pintamalliin rakennettiin tiestöt. Kalliopintatiedon avulla voitiin tarkastella sijoittuuko kallion pinta tielle tietä rakentaessa. Tältä osin opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät.

Yhtenä tavoitteena oli suorittaa kaikki mittaukset itse, käyttäen apuna maanmittauslaitoksen tekemää pintamallia. Tavoitteena oli myös opinnäytetyötä tehdessä tutustua itselle uusiin ohjelmiin. Itselle aluksi haastavien mittausdatojen käsittely onnistui pienellä lisäopettelulla, mutta maastokadatan tulkkaukset vei aikaa enemmän kuin alun perin oli suunniteltu.

Aluetta pyrittiin suunnitella luontoa ja kustannuksia säästäen, ja tässä onnistuttiin. Pohjatutkimuksia tehdessä luontoa ei vaurioitettu ja näistä arvoista pidettiin kiinni. Kairaukset suoritettiin talvella, joten lumi suojasi pintamaata kairakoneen telojen aiheuttamilta mahdollisilta vaurioilta. Mittaukset ja kairaukset sujuivat hyvin, vaikka maasto oli haasteellista suuren korkeuseron ja osittain tiheän puuston vuoksi.

Opinnäytetyössä käytin Tekla BIMsightia, sen avulla on helppo tutkia eri tasoja kolmiulotteisesti ja myös jatkossa kannattaa toimia samoin, koska opinnäytetyössä käytetyistä ohjelmista Tekla BIMsight ja QGIS ovat ilmaisohjelmia ja näin ollen kustannuksissa voidaan säästää.

Koen onnistuneeni opinnäytetyössäni koska olen saanut itselleni arvokasta tietoa ja käytännön kokemusta eri ohjelmista, joita en ole ennen käyttänyt näin monipuolisesti.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö onnistui ja tavoitteet saavutettiin. Aiheen valinnassa minua avustivat Road Consulting Oy:n henkilökunta. Työ oli mielenkiintoinen ja innostuin aiheesta kokoajan sitä tehdessäni. Olen tyytyväinen opinnäytetyön lopputulokseen.

## LÄHTEET

3D-system Oy. 2015. 3D-win. Maastomalliohje versio 6.1. 2/2015. Vantaa.

3D-system Oy. 2016a. 3D-system. Etusivu. Viitattu 21.3.2016. <http://www.3d-system.fi/index.php/etusivu>.

3D-system Oy. 2016b. Ohjelmistot. 3D-Win. Viitattu 21.3.2016. <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>.

European Space Agency. 2016. GALILEO Navigation. What is Galileo? Viitattu 2.5.2016  
[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/The\\_future\\_\\_Galileo/What\\_is\\_Galileo](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future__Galileo/What_is_Galileo).

Geomachine Oy. 2016. Kairavaunut. Maaperätutkimusvaunut. GM 75 GT. Viitattu 3.5.2016 [http://geomachine.fi/GM\\_75\\_GT\\_FI](http://geomachine.fi/GM_75_GT_FI).

Geo-Work Oy. 2016. Maatutkaluotaus. Maa-ainestutkimukset. Viitattu 20.5.2016  
<http://www.geo-work.com/maatutkaluotaus-ja-mittaukset/maa-aines/>.

Jokela, S. 2014. QGIS-kurssi 15.-16-5-2014. Tietoa QGIS:stä. Viitattu 18.3.2016  
[http://www.lounaistieto.fi/wp-content/uploads/2015/02/QGIS\\_valmiera\\_2\\_2\\_0\\_ohjeet.pdf](http://www.lounaistieto.fi/wp-content/uploads/2015/02/QGIS_valmiera_2_2_0_ohjeet.pdf).

Kopposela, L. 2012. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Maastomalli. Viitattu 18.3.2016.  
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40484/Kopposela%20Lauri.pdf>.

Latuviitta. 2013. GIS-ohjelmia. QGIS. Viitattu 18.3.2016.  
<http://www.qgis.org/fi/site/about/index.html>.

Laurila, P. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 3. Rovaniemi. Tornion kirjapaino.

Maanmittauslaitos 2016. Ammattilaisille. Maastotiedot. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. ETRS89 (EUREF-FIN). Satelliittimittaus eli GPS-mittaus. Viitattu 22.5.2016.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti- korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/satelliittimittaus-eli-gps-mittaus>.

Niskanen Jari. 2015. Building Smart Finland. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 1. Tietomallipohjainen hanke.

Ratahallintokeskus. 2007. Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 8/2007. Helsinki.

Roadscanners Oy. 2004. Road Doctor ® for Windows. User's Guide. Rovaniemi.

Roadscanners Oy. 2016. Product & Services. Road Doctor® 3. Viitattu 29.4.2016 <http://www.roadscanners.fi/product/road-doctor-3/>.

Sarkola, P. 2016. Ohjeita. Alueiden yhdistäminen Quantum Gis-ohjelmistolla. Viitattu 18.3.2016. <http://www.gispo.fi/ohjeita/alueiden-yhdistaminen-quantum-gis-ohjelmistolla/>.

Siljander, M; Hurskainen, P & Finegold, Y. Positio 3/2012. Paikkatieto-opetus innosti Itä-Afrikassa. Maanmittauslaitos, 2012. Viitattu 18.3.2016. [http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=a2c984da-2b8e-47c3-bbb4-4c4168d77fb1&groupId=108478](http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=a2c984da-2b8e-47c3-bbb4-4c4168d77fb1&groupId=108478).

Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1981. Kairausopas I. Painokairaus, tärykairaus, heijarikairaus. Rakentajain kustannus oy. Helsinki. Kyriiri Oy. (Suojattu, käyttöoikeus koneen omistajalla).

Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1984. Kairausopas III. Maanäytteen otaminen geoteknillisiä tutkimuksia varten. Espoo. Otapaino. (Suojattu, käyttöoikeus koneen omistajalla).

Suomen Geoteknillinen yhdistys r.y. 1986. Kairausopas IV. Porakonekairaus. Vammala. Rakentajain Kustannus Oy. Vammalan kirjapaino Oy. (Suojattu, käyttöoikeus koneen omistajalla).

Tiehallinto 2004. Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävä maatutkatutkimukset ja tulosten esitystapa-menetelmäkuvaus Viitattu 2.5.2016. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100027-v-04rakentparantamissuunn.pdf>.

Tiehallinto 2005. Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen. Viitattu 2.5.2016. [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200978-vs14-kelirikkokorjausten\\_suunnitt\\_ja\\_rakent.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200978-vs14-kelirikkokorjausten_suunnitt_ja_rakent.pdf).

Trimble. 2016a. Trimble R8 GNSS –järjestelmä. Tekniset tiedot. Viitattu 2.5.2016. [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608082/022543-079N-FIN\\_TrimbleR8GNSS\\_DS\\_1014\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608082/022543-079N-FIN_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf).

Trimble 2016b. Trimble TSC3 –maastotietokone. Tekniset tiedot. Viitattu 2.5.2016. [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-656922/022543-512C-FIN\\_TSC3System\\_DS\\_0413\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-656922/022543-512C-FIN_TSC3System_DS_0413_LR.pdf).

Trimble. 2016c. Tekla. Tuotteet. BIMsight. viitattu 18.3.2016 <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-bimsight>.

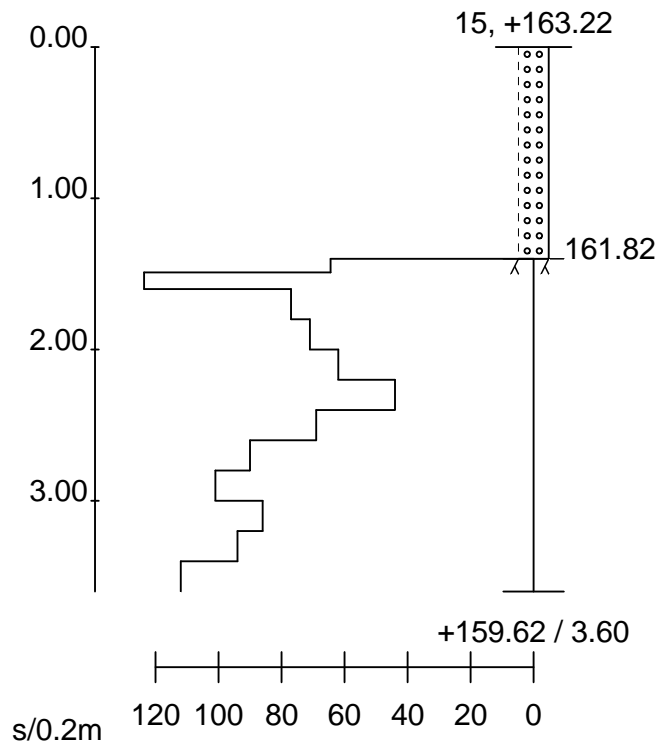
Vitikainen Marjut. Aalto yliopisto. Julkaisut. Fotogrammetrian, kuva tulkinnan ja kaukokartoituksen erikoistyö. Ympäristömallianimaation tiedonkeruu fotogrammetrisesti. 1995. Viitattu 28.4.2016. <http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/mwitikainen.html#L3>.

## LIITTEET

Liite 1 Kairausdiagrammi	15
Liite 2 Kairausdiagrammi	16
Liite 3 Kairausdiagrammi	17
Liite 4 Kairausdiagrammi	18
Liite 5 Kairausdiagrammi	19
Liite 6 Kairausdiagrammi	24
Liite 7 Kairausdiagrammi	28
Liite 8 Kairausdiagrammi	32
Liite 9 Kairausdiagrammi	33
Liite 10 Kairausdiagrammi	35
Liite 11 Kairausdiagrammi	36
Liite 12 Kairausdiagrammi	40
Liite 13 Kairausdiagrammi	43
Liite 14 Kairausdiagrammi	44
Liite 15 Kairausdiagrammi	45
Liite 16 Kairausdiagrammi	46
Liite 17 Kairausdiagrammi	47
Liite 18 Kairausdiagrammi	48
Liite 19 Kairausdiagrammi	49
Liite 20 Kairausdiagrammi	50
Liite 21 HPTL	
Liite 22 HV2	
Liite 23 Talo L3	
Liite 24 Tie1	
Liite 25 Tie3	
Liite 26 Tie8_2	
Liite 27 Tie8c	

Yhteenveto:

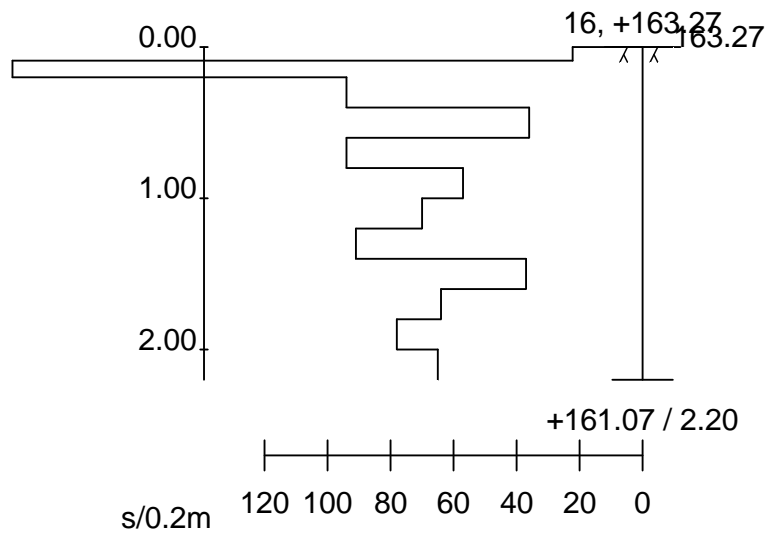
0.00 - 1.40 m: Sr  
 1.40 - 3.60 m: Ka  
 3.60 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro:	15
Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 2.20 m: Ka  
2.20 KA

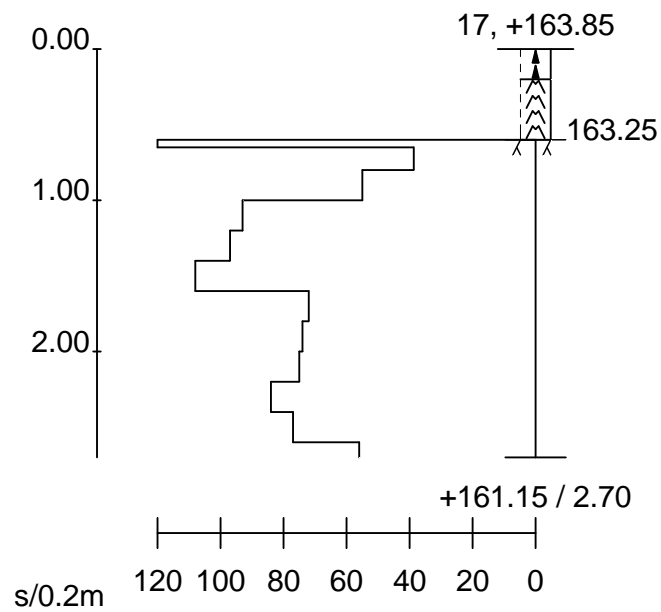


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	16	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 0.20 m: Ki  
 0.20 - 0.60 m: Mr  
 0.60 - 2.70 m: Ka  
 2.70 KA

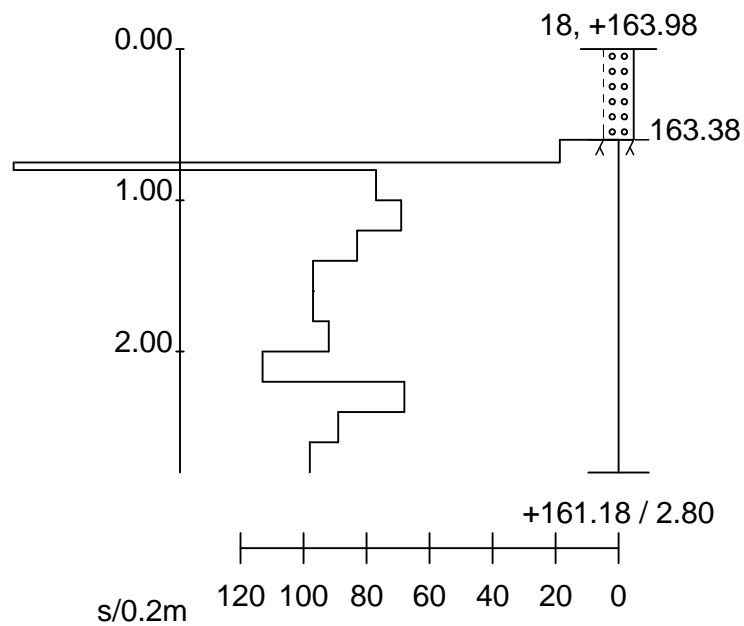


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro:	17
Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016



Yhteenveto:

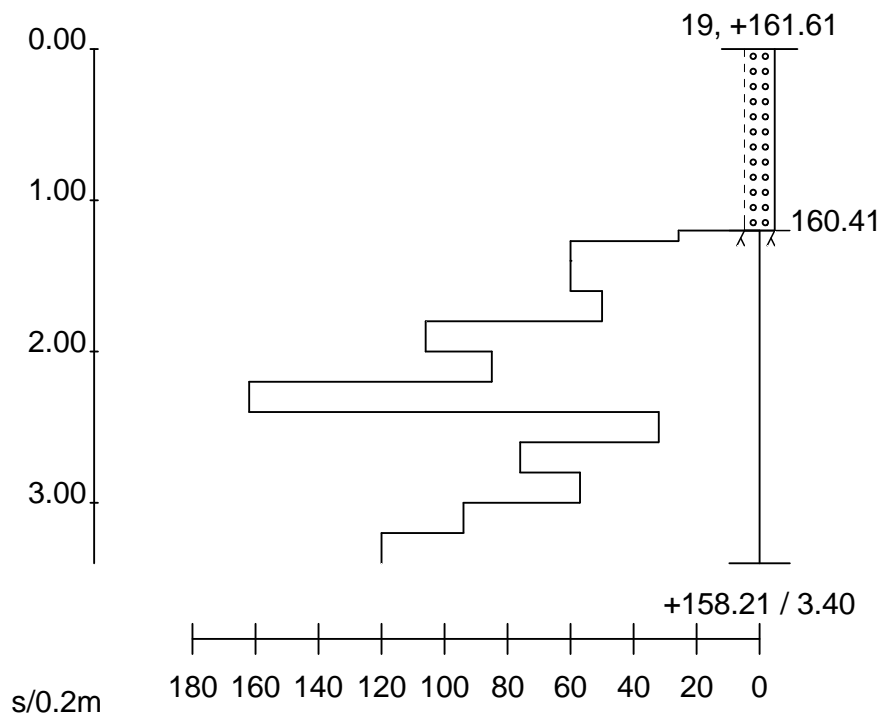
0.00 - 0.60 m: Sr  
 0.60 - 2.80 m: Ka  
 2.80 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro:	18
Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 1.20 m: Sr  
 1.20 - 3.40 m: Ka  
 3.40 KA

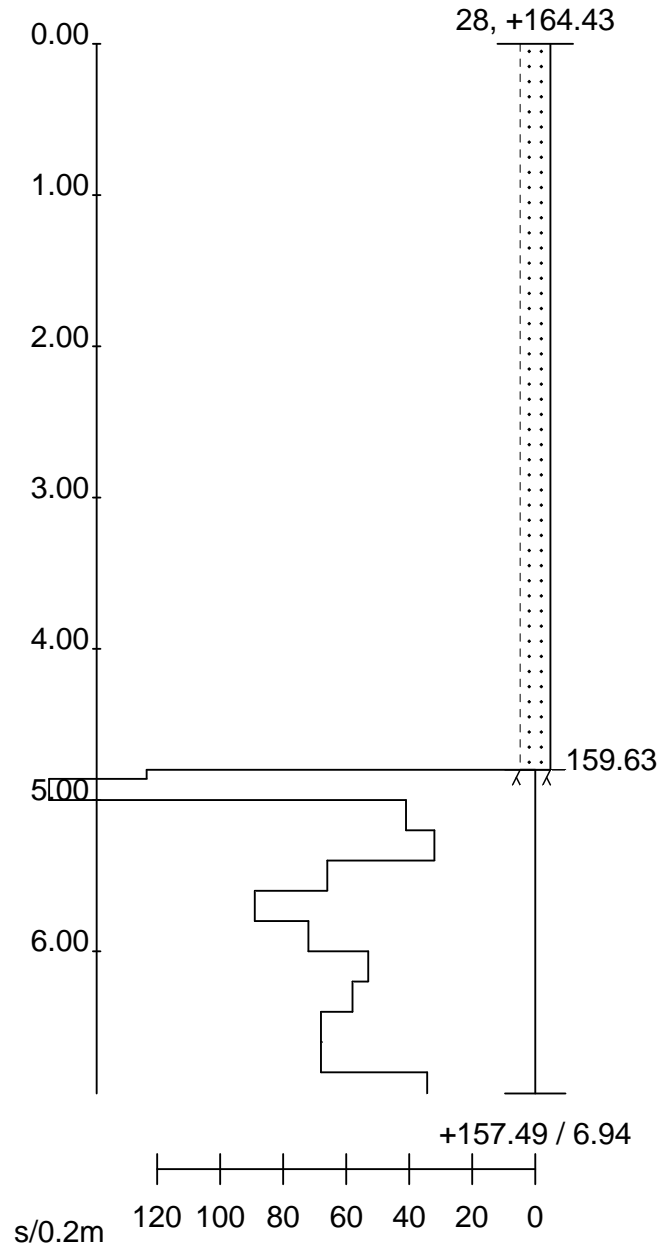


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro:	19
Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016



Yhteenveto:

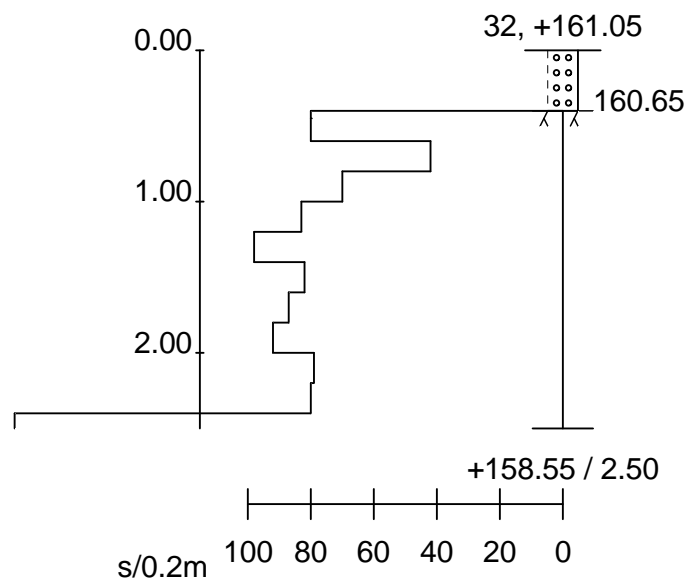
0.00 - 4.80 m: Hk  
 4.80 - 6.94 m: Ka  
 6.94 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 28	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

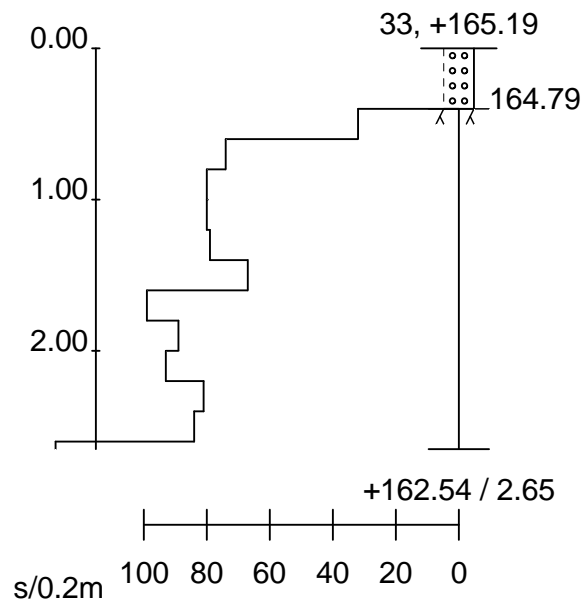
0.00 - 0.40 m: Sr  
 0.40 - 2.50 m: Ka  
 2.50 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 32	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

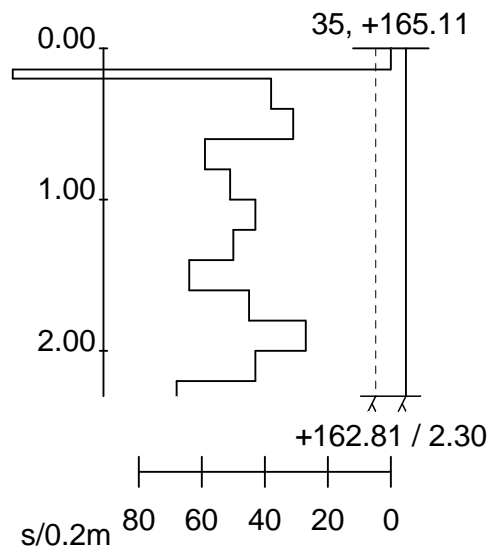
0.00 - 0.40 m: Sr  
 0.40 - 2.65 m: Ka  
 2.65 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 33	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 2.30 m:  
2.30 KA

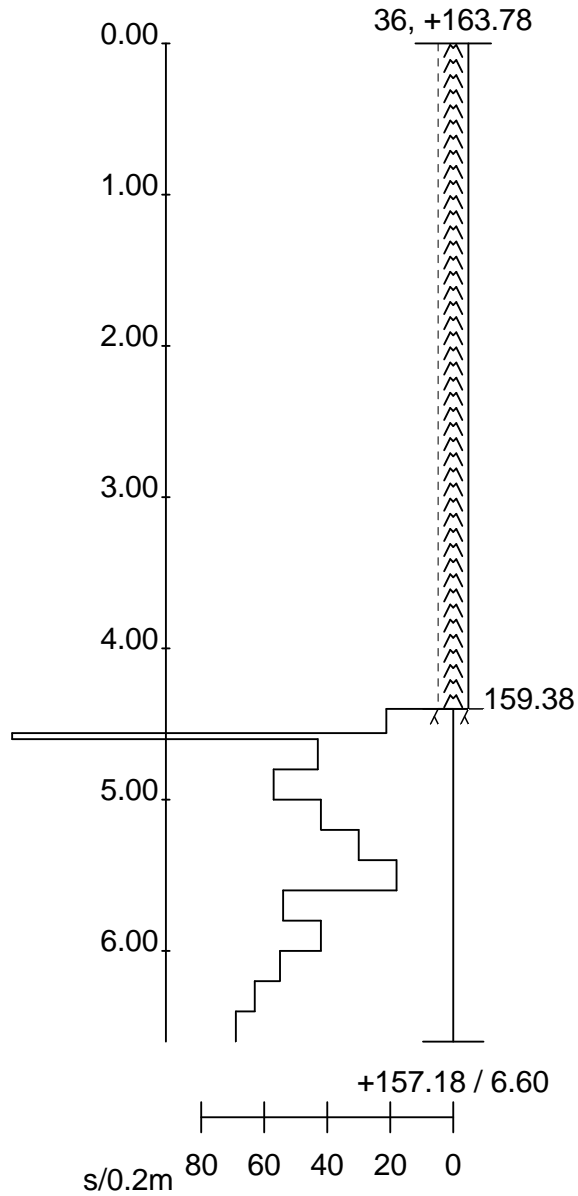


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	35	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 4.40 m: MR  
 4.40 - 6.60 m: Ka  
 6.60 KA



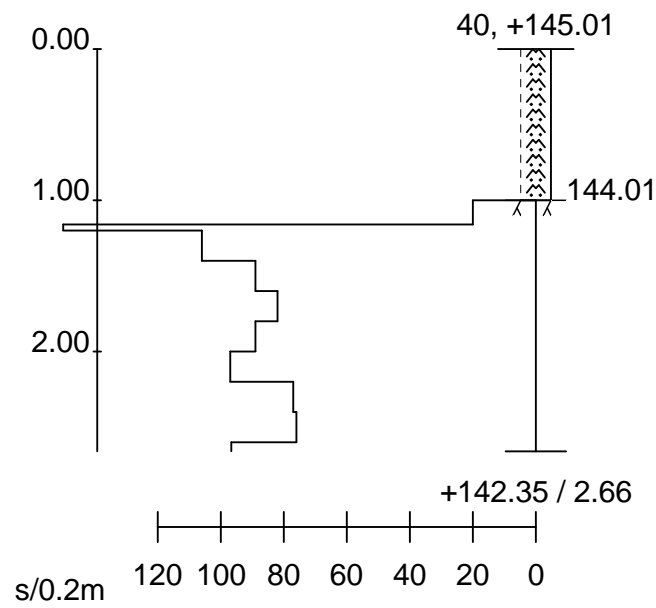
Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 36	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016



# Liite12 Kairausdiagrammi40

Yhteenveto:

0.00 - 1.00 m: HkMr  
1.00 - 2.66 m: Ka  
2.66 KA

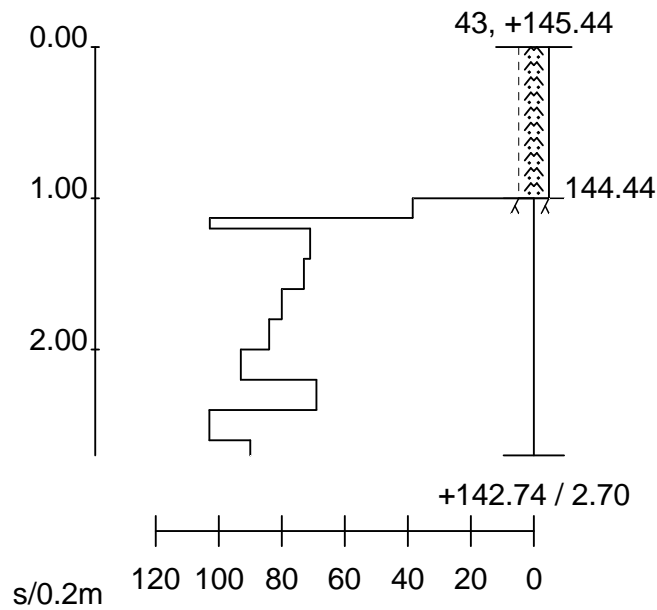


## Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	40	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 1.00 m: HkMr  
 1.00 - 2.70 m: Ka  
 2.70 KA

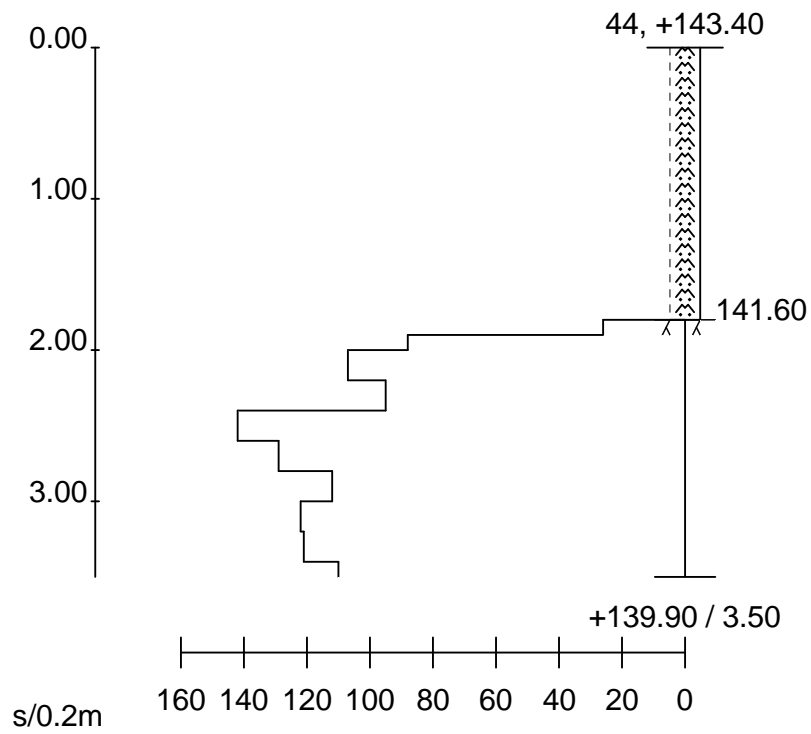


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	43	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 1.80 m: HkMr  
 1.80 - 3.50 m: Ka  
 3.50 KA

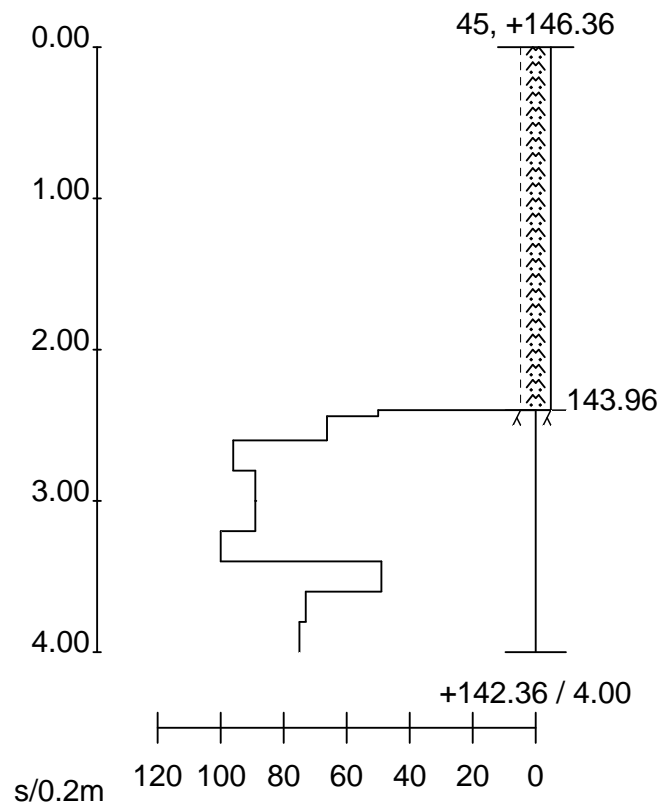


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	44	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 2.40 m: HkMr  
 2.40 - 4.00 m: Ka  
 4.00 KA

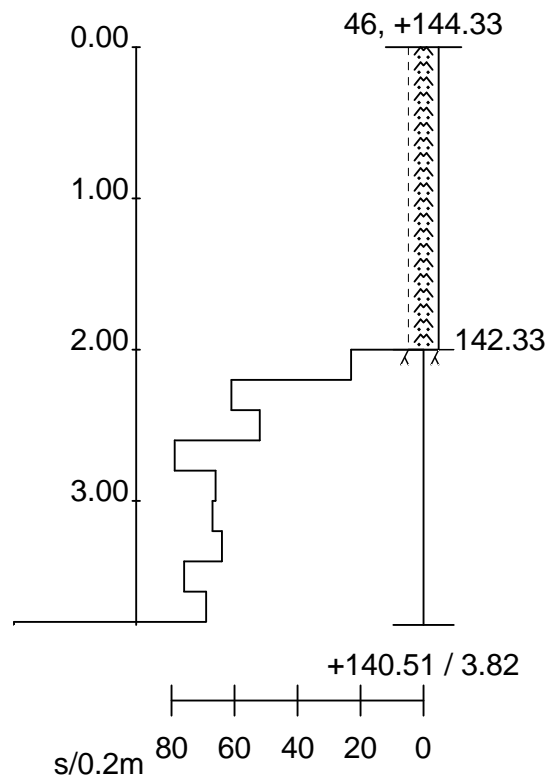


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	45	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

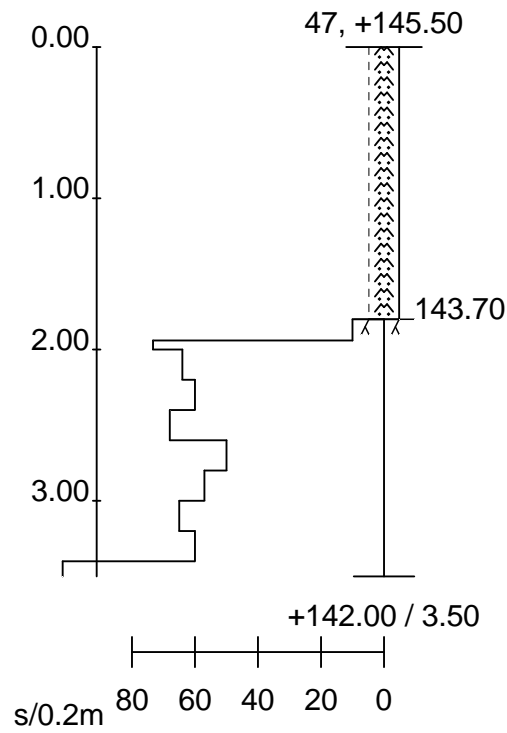
0.00 - 2.00 m: HkMr  
 2.00 - 3.82 m: Ka  
 3.82 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 46	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 1.80 m: HkMr  
 1.80 - 3.50 m: Ka  
 3.50 KA

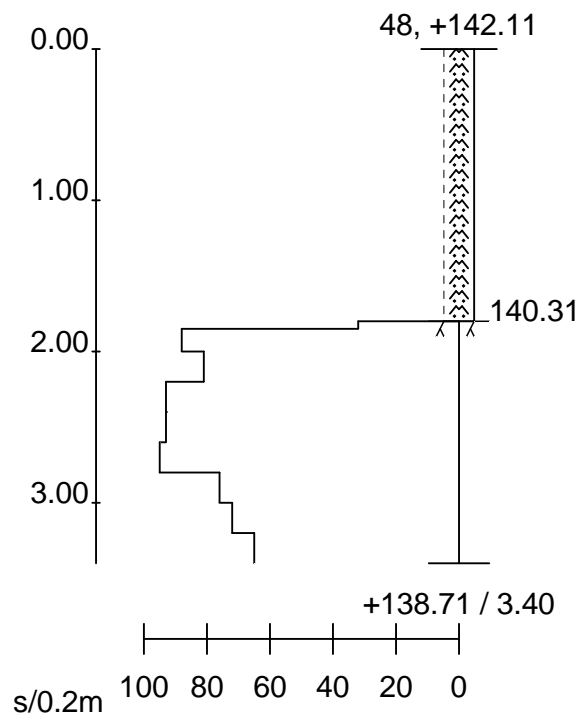


Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	47	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

Yhteenveto:

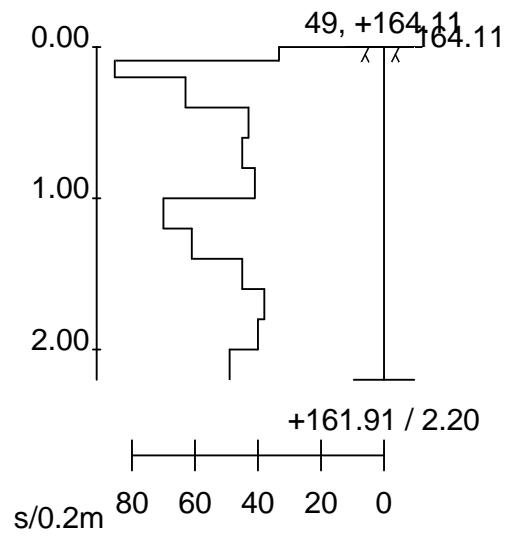
0.00 - 1.80 m: HkMr  
 1.80 - 3.40 m: Ka  
 3.40 KA



Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet	
Piste Nro: 48	Kairaustapa: Porakonekairaus
X:	Päättymistapa: Varmistettu kallio
Y:	Mittakaava: 1:50
Z:	Päivä: 21.3.2016

Yhteenveto:

0.00 - 2.20 m: Ka  
2.20 KA



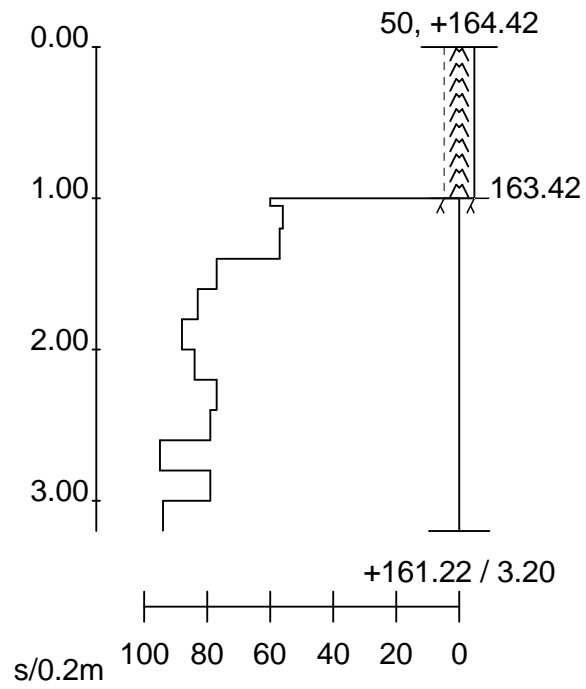
Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

Piste Nro:	49	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016



Yhteenveto:

0.00 - 1.00 m: Mr  
 1.00 - 3.20 m: Ka  
 3.20 KA

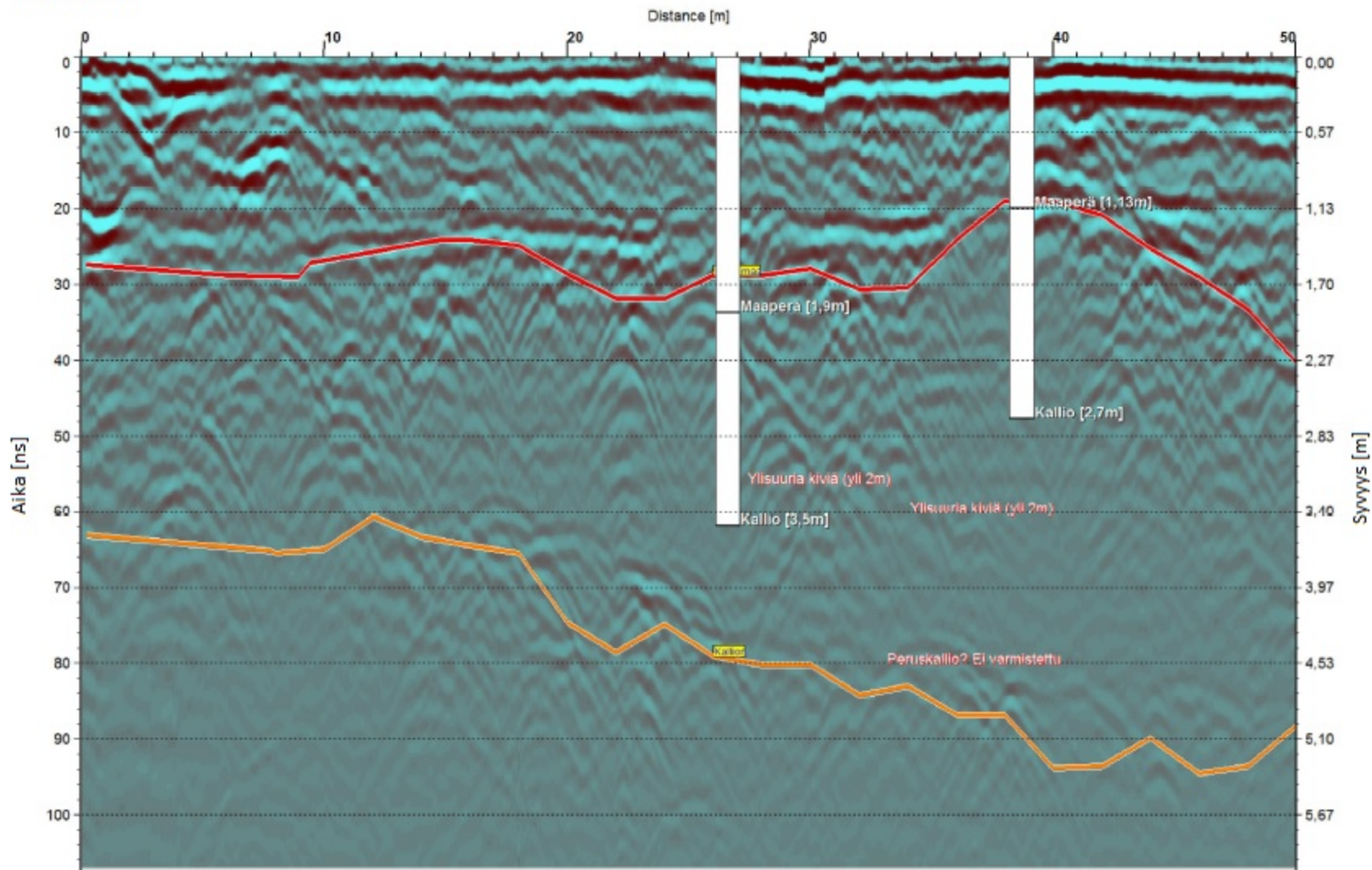


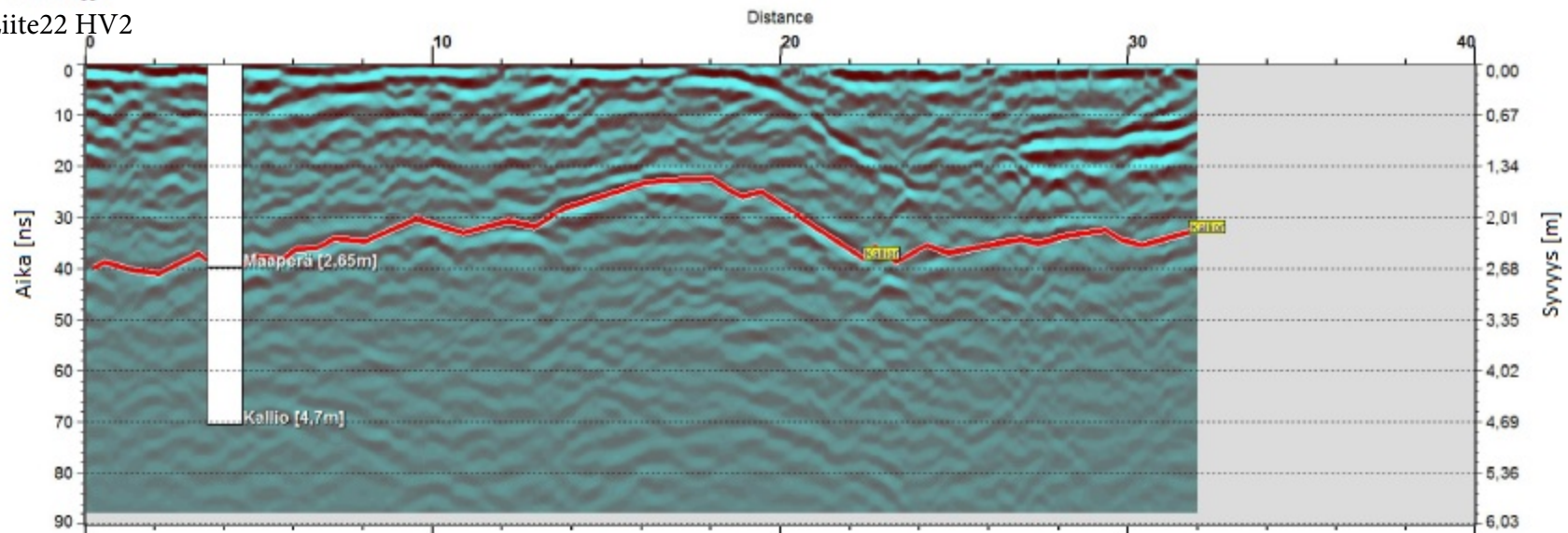
Opinnäytetyössä käytetyt kairapisteet

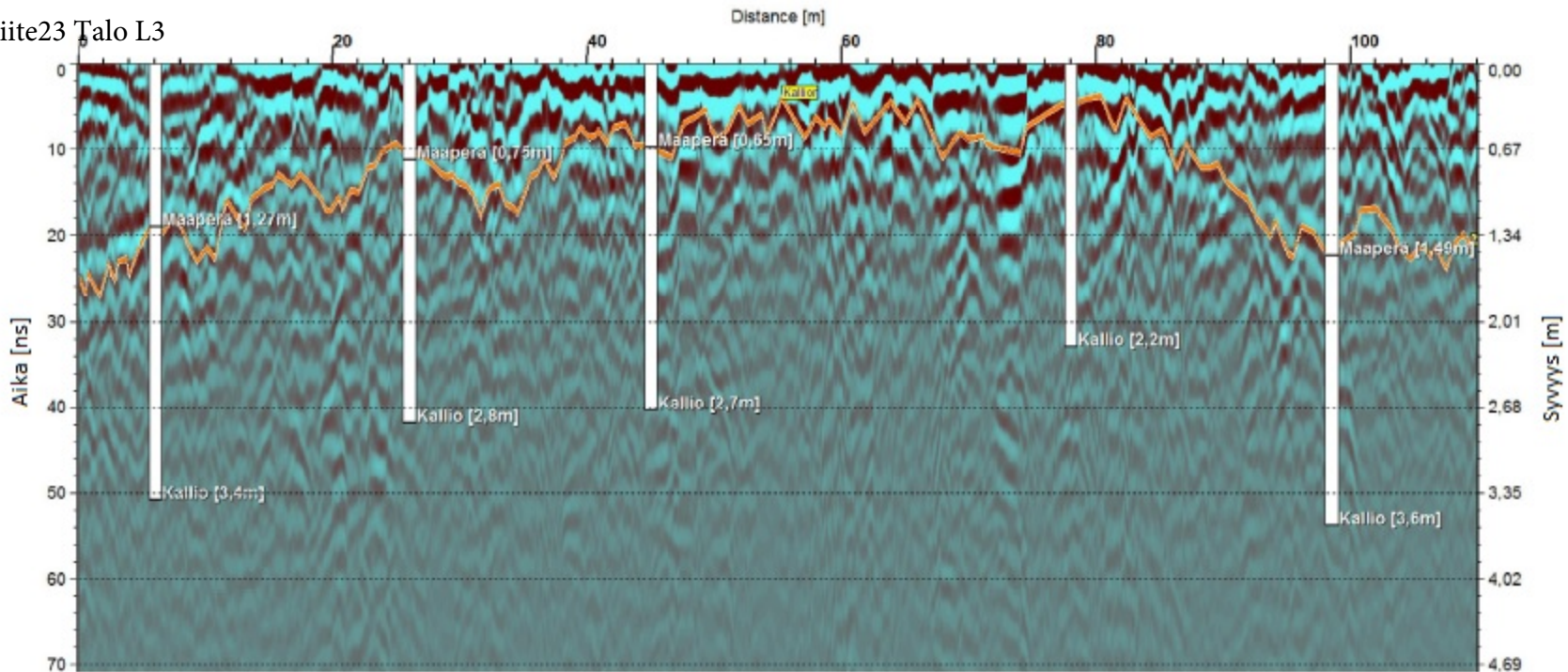
Piste Nro:	50	Kairaustapa:	Porakonekairaus
X:		Päättymistapa:	Varmistettu kallio
Y:		Mittakaava:	1:50
Z:		Päivä:	21.3.2016

# Liite21 HPTL

## HPTL ANALYYSI

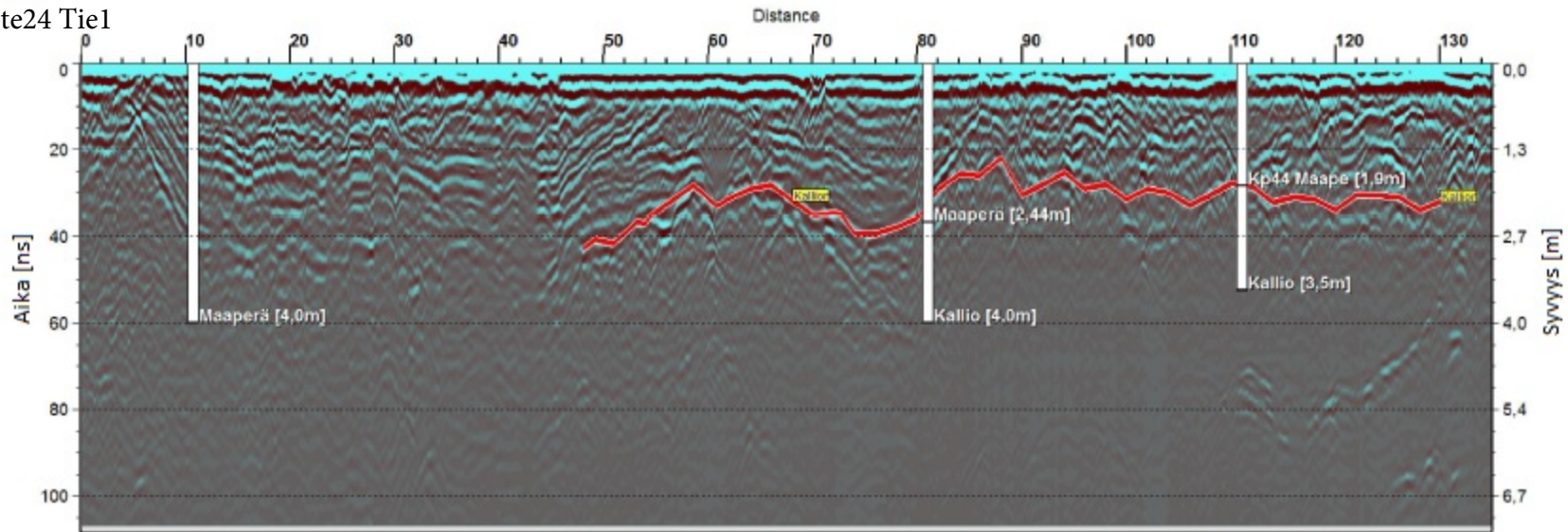






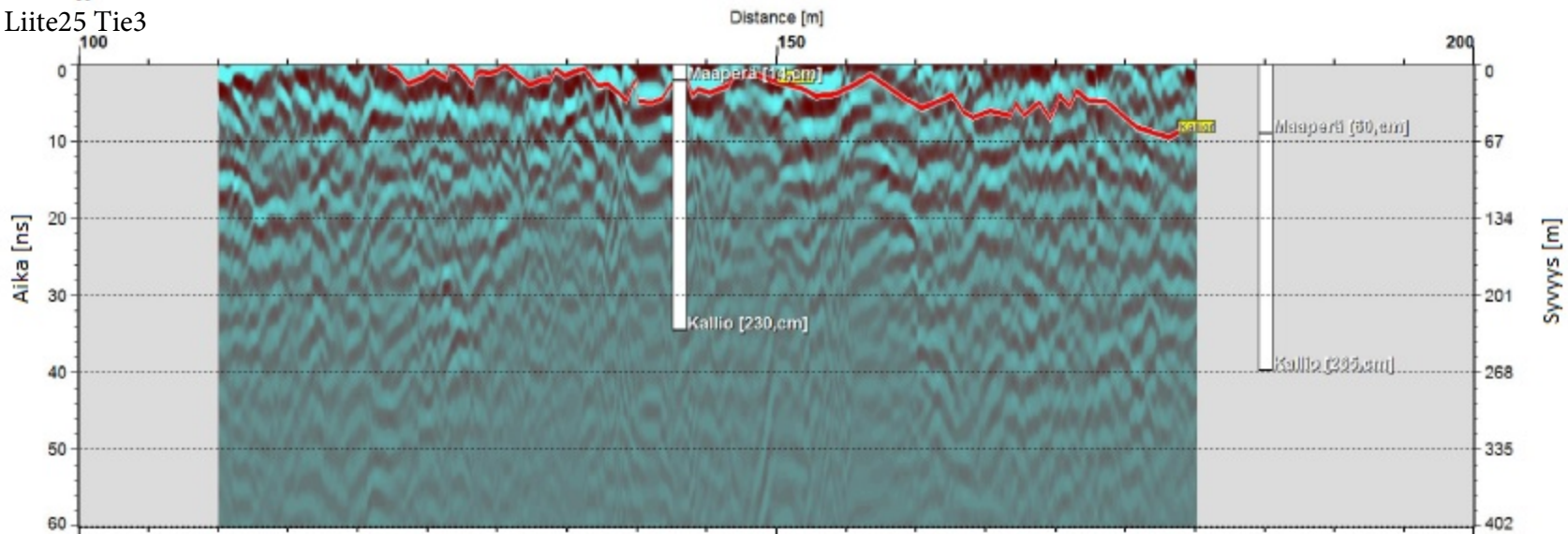
Tie1

Liite24 Tie1



## Tie3 Analyysi

## Liite25 Tie3



Tie8 Analyysi  
Liite26 Tie8\_2

