



Heikki Salonen

POHJAVESIALUEIDEN RAJAAMINEN HYDROGEOLOGISINA
KOKONAISUUKSINA

Tapausalueina neljä Pohjois-Suomessa sijaitsevaa glasifluviaalisten jokiuomien
halkomaa pohjavesialuekokonaisuutta

Maantieteen pro gradu –tutkielma
Turku 2019

TURUN YLIOPISTO

Luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta

Maantieteen ja geologian laitos

SALONEN, HEIKKI: POHJAVESIALUEIDEN RAJAAMINEN HYDROGEOLOGISINA

KOKONAISUUKSINA – Tapausalueina neljä Pohjois-Suomessa sijaitsevaa glasifluviaalisten jokiuomien halkomaa pohjavesialuekokonaisuutta

Pro gradu –tutkielma, 84 sivua + 38 liitesivua

40 op, Maantiede

Ohjaaja: Joni Mäkinen

Toukokuu 2019

Tässä pro gradu -tutkielmassa tutkin Pohjois-Suomen jokiuomien vaikutuksia alueen pohjavesialueiden rajaamiseen. Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytin maatutkaluotauksia. Tutkielman aineistoina toimivat neljälle tutkimusalueelle jakautuneet 50 maatutkaluotauskilometriä, joista noin seitsemän suunniteltiin juuri tämän tutkielman tarpeisiin. Loput noin 43 linjakilometriä olivat GTK:n POSKI2 –hankkeen yhteydessä suoritettuja luotauksia. Referenssiaineistoina käytin myös maaperäkairauksia, joiden määrä vaihteli tutkimusalueittain. Tutkielman perusteella Pohjois-Suomen geomorfologisia hiekka- ja soramuodostumia pinnalta halkovia jokiuomia ei tulisi käyttää suoraan pohjavesialueiden rajausperusteena, sillä näiden jokiuomien hienoaineskerrokset eivät ole riittävän paksuja ja kattavia katkaisemaan pohjavesialueiden välisen hydrologisen yhteyden. Nämä glasifluviaalista perua olevat jokiuomat eivät siis ole sellaisenaan peruste pohjavesialueiden rajaamiselle, vaan rajaamisen tueksi tarvitaan pistokairauksia kattavampia tutkimusaineistoja mahdollisten tiiviiden maakerrosten vertikaali- ja horisontaaliulottuvuuksista. Maatutkaluotaus sopii hyvin tällaiseksi tutkimusmenetelmäksi, sillä mikäli tutkimusalueilla ei ole paksuja savi- tai silttikerroksia, eivät myöskään maamme mittakaavalla paksut (10-35m) maakerroksetkaan estä maatutkaluotausprofiilin tulkitsijaa saavuttamasta kokonaiskuvaa tutkimusalueista ja pohjavesialueiden hydrogeologisista ominaispiirteistä. Tutkielmassa tarkastelin myös pohjavesialueiden rajausta koskevan lainsäädännön sekä Suomen ympäristökeskuksen ELY-keskuksille tuottaman pohjavesialueiden rajausohjeistuksen muutoksia ja nykytilaa. Nykyisen lainsäädännön ja ohjeistusten muodostama kokonaisuus painottaa hydrogeologisen yhteyden katkeamista pohjavesialueiden rajausperusteena.

Asiasanat: Pohjavesialue, maatutkaluotaus, geomorfologinen rakennetulkinta, jokiuomat, ympäristönsuojelulaki

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck – järjestelmällä

UNIVERSITY OF TURKU
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Department of Geography and Geology

SALONEN, HEIKKI: GROUNDWATER AREAS DEMARCATION WITH GPR – Case studies with four groundwater areas divided by glacifluvial riverbeds at Northern Finland

Mater's thesis, 84 pages, 38 appendix pages

40 cr, Geography

Instructor: Joni Mäkinen

June 2019

The aim of this study was to examine the Northern-Finland small riverbeds as demarcation criteria for groundwater areas. As the research method I used ground penetrating radar (GPR). GPR can generate large amounts of data fast and at relatively low cost. In this study we discovered that the environmental barriers must be relatively strong before they prevent the acquisition of the necessary data. In the research we executed approximately seven new GPR line kilometers at Pello research area, which is one of the fourth research areas in this study. In the three other research areas we used GPR lines which were already made by the Geological Survey of Finland (GTK) before the research. With these GPR kilometers together, under research were approximately 50 GPR line kilometers. At every research area we also had some soil borings which work as reference data to GPR profiles. These soil borings also helped planning our Pello research area GPR lines. In this study I also discuss changes in Finnish environmental legislation and guidelines made by Finnish Environment Institute and how these changes affect the demarcation of groundwater areas. Acts and instructions change often, but at the moment a set of acts and guidelines underline the role of hydrological connection as bordering basis of ground water areas. During this research we didn't find any deep clay or silt layers under any of the twelve riverbeds in this research. According to results, we can note that riverbeds can't be used as a groundwater basis for demarcation in the research areas because clay and silt layers of these riverbeds are not thick and comprehensive enough to break the hydrological connection between the groundwater areas. And additionally we can note that without extensive research, riverbeds cannot be used in Northern-Finland as a basis for demarcating groundwater areas. According to this research GPR is well suited for producing such additional data in Northern-Finland.

Key words: Groundwater area, GPR, geomorphological structure interpretation, riverbeds, Environmental Protection Act

The originality of this thesis has been checked in accordance with the University of Turku quality assurance system using the Turnitin Originality Check service.

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	1
2. TEOREETTINEN VIITEKEHYS	3
2.1 Pohjavesi	3
2.2 Pohjavesialueiden rajausta ja luokitus	7
2.2.1 EU:n ohjausvaikutus ja lainsäädännön muutokset.....	7
2.2.2 Pohjavesialueiden rajaaminen.....	9
2.2.3 Pohjavesialueiden luokittelu.....	11
2.2.4 Pohjavesialueiden rajaaminen kokonaisuuksittain.....	12
2.3 Pohjois-Suomen geologiset ja geomorfologiset luonteenpiirteet	15
2.3.1 Pohjois-Suomen kallioperä.....	15
2.3.2 Pohjois-Suomen deglasiatio.....	16
2.3.3 Pohjois-Suomen geomorfologiset muodostumat.....	19
2.4 Maatutkaluotaus	22
2.4.1 Maatutkaluotaus menetelmänä.....	22
2.4.2 Maatutkaluotausprofiilin tulkinta.....	26
3. AINEISTOT JA MENETELMÄT	33
4. TUTKIMUSALUEET	36
4.1 Tutkimusalueiden valinta	36
4.2 Posion kokonaisuus	38
4.3 Pellon kokonaisuus	42
4.4 Rovaniemen kokonaisuus	45
4.5 Kolarin kokonaisuus	47
5. TULOKSET	49
5.1 Posion kokonaisuus	49
5.1.1 Posion rakennetulkinta.....	49
5.1.2 Posion jokiuomat.....	57
5.2 Pellon kokonaisuus	60
5.2.1 Pellon rakennetulkinta.....	60
5.2.2 Pellon jokiuomat.....	62
5.3 Rovaniemen kokonaisuus	65
5.3.1 Rovaniemen rakennetulkinta.....	65
5.3.2. Rovaniemen jokiuomat.....	66
5.4 Kolarin kokonaisuus	68

5.4.1 Kolarin rakennetulkinta.....	68
5.4.2 Kolarin jokiuomat.....	71
6. TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA	73
6.1 Jokiuomat pohjavesialueiden rajausperusteena	73
6.2 Lainsäädännön muutokset ja ohjeistuksen rooli	75
6.3 Maatutkaluotausten käyttökelpoisuus tutkimusmenetelmänä	76
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	79
KIITOKSET	80
KIRJALLISUUS.....	81

1. Johdanto

Pohjavesivaramme ovat maamme vedenhankinnan keskiössä puhtaan juomaveden lähteenä. Luonnontieteellisesti oikein sijoitetut pohjavesialueiden rajat turvaavat pohjaveden laadun ja saatavuuden yhteiskunnan käyttöön. Tähän perustuen puhtaan juomaveden laadun varmistaminen on jopa kirjattuna YK:n vuosituhattavoitteisiin (6.1); ”Varmistetaan vuoteen 2030 mennessä turvallisen ja edullisen juomaveden saatavuus kaikille.” Toisaalta pohjavesialueiden rajojen täsmällinen sijoittelu toimii esimerkiksi pohjavesialueilla toimivien toiminnanharjoittajien oikeusturvan perustana, sillä tosiasiallista tarvetta laajemmat pohjavesialueet hankaloittavat yksityisten sekä kunnallisten toiminnanharjoittajien toimintaa.

Vaikka pohjavesialueiden rajoilla ei ole suoranaisia oikeusvaikutuksia (Britschgi ym. 2018c: 12), vaikuttavat ne kuitenkin pohjavesialueilla tapahtuviin toimintoihin ennen kaikkea lupajärjestelmien kautta. Pohjaveden pilaantumisen vaaraa aiheuttavat toiminnot pyritään nimittäin sijoittamaan lähtökohtaisesti pohjavesialueiden ulkopuolelle (YSL 517/2014 11§), jolloin pohjavesialueiden rajat toimivat esimerkiksi kaavoituksen tukena.

Pohjavesialueiden rajauksia tarkistetaan ja tarkennetaan jatkuvasti sitä mukaa, kun uutta tietoa alueen pohjavesiolosuhteista ja geologiasta on saatavilla. Tässä tutkimuksessa huomio kiinnittyy useampia pohjavesialueita toisistaan jakaviin rajoihin, eli sellaisiin rajoihin, jotka jakavat laajemman kokonaisuuden vähintään kahdeksi pohjavesialueeksi. Tämän tutkielman painopiste ei siis kohdistu pohjavesialueiden ulkorajoihin, jotka ovat tavanomaisesti pohjavesitutkimusten ja rajausten tarkastusten kohteena.

Jo tässä yhteydessä on oleellista huomata, että lainsäädäntö ohjaa myös pohjavesialueiden rajauksia ja luokitteluja. Tämän vuoksi on syytä tiedostaa säädösten ja viranomaisohjeistusten rooli pohjavesialueiden rajausten ja luokitusten kannalta.

Lain vesien- ja merenhoidon järjestämisestä (2014/1263) ja valtioneuvoston asetuksen vesienhoidon järjestämisestä (2016/929) muutoksien perusteella aloitettiin pohjavesialueiden uudelleenluokittelu. Muutosten seurauksena huomio kiinnittyi uudemman kerran jo aikaisemmin rajattuihin ja luokiteltuihin pohjavesialueisiin. Samalla lakimuutoksin täydennettiin ja viilattiin eräitä pohjavesialueiden rajaamista koskevia lainsäädännöllisiä ja ohjeellisia osia.

Maamme lakien ja asetusten perusteella Suomen ympäristökeskus on luonut tasaisin väliajoin pohjavesialueiden rajaamista koskevia ohjeistuksia ELY-keskuksille sekä muille pohjavesialueiden toimijoille. Ohjeistukset ovat ajoittain olleet merkittävässä roolissa pohjavesialueiden rajausten käytännön suorittamisen suhteen. Esimerkiksi ohjeistukset

pohjavesialueiden rajaamisesta milloin geologisen ja milloin hydrogeologisen kokonaisuuden mukaan on saanut käytännön tasolla pohjavesialueiden rajaamisissa oleellisen roolin.

Lapin jokiuomien maaperien on havaittu pistokairauksin sisältävän usein tiiviitä maalajeja, eli savia ja silttiä. Tällöin Pohjois-Suomen jokiuomia on käytetty varsin suoraviivaisesti olennaisena tekijänä pohjavesialueiden rajojen määrittämisessä ja sijoittelussa. Harjujakson osat tai delttakokonaisuudet ovat paikoin pirstoutuneet lukuisiin osiin niitä halkovien jokiuomien johdosta. Tarkastelen tutkimuksessani näiden jokiuomien vaikutuksia pohjavesialueiden rajaamiseen uudistuneen lainsäädännön ja ohjeistuksen kontekstissa.

Uudistuneen lainsäädännön ja ohjeistuksen painottaessa hydrologisen yhteyden merkitystä on pohjavesialueiden rajaamisen kannalta oleellista selvittää kuinka paksuja, kattavia ja tiiviitä nämä jokiuomien kohdin havaitut tiiviit maakerrokset ovat. Toisin sanoen on syytä selvittää, rikkovatko tällaiset hienoaineskerrokset tutkimusalueiden hydrogeologisen kokonaisuuden. Hienoainesten ulottuvuuksia ja kattavuuksia tutkimusalueilla tutkitaan tutkielmassa maatutkaluotausten avulla. On kuitenkin huomioitava, että ennen jokiuomien maaperäkerrosten vaikutusten tarkempaa tutkimusta, on alueesta syytä muodostaa geomorfologisen rakennetulkinnan avulla kokonaiskuva. Maaperän kerrostumien synty-ympäristön tunteminen on oleellista, jotta tutkimusalueesta voidaan edelleen tehdä tarkempia alueellisia tulkintoja (Salonen ym. 2002: 66). Synty-ympäristön ja rakennetulkinnan luoman kokonaiskuvan tunteminen auttaa jokiuomien tarkastelua, sillä käsitys alueesta ja sen yksityiskohdista on helpompi ja luotettavampi muodostaa kokonaiskuvan kautta.

Maatutkaluotaus on geofysikaalinen menetelmä, jossa tutka lähettää maaperään signaalin, joka kimpoaa osittain takaisin tutkaan maaperän sähköisistä rajapinnoista. Paluusignaalin perusteella voidaan muodostaa kuva maaperän eri kerroksista, kallioperän muodoista ja pohjaveden pinnasta. Tutkielmassa arvioin myös maatutkaluotauksen menetelmällistä tehokkuutta ja toimivuutta ensinnäkin jokiuomien hienoaineskerrosten selvittämiseen sekä toisaalta laajemman hydrogeologisen kokonaisuuden selvittämiseksi.

Tutkimuskysymykset:

1. Onko pohjavesialueiden rajaaminen jokiuomien perusteella Pohjois-Suomessa perusteltua luonnontieteellisten tekijöiden valossa?
2. Onko maatutkaluotaus toimiva menetelmä jokiuomien maaperien ja pohjavesialueiden hydrologisten yhteyksien tutkimiseksi?
3. Kuinka lainsäädäntö, ohjeistukset ja näiden muutokset vaikuttavat pohjavesialueiden rajaamiseen sekä tuleeko pohjavesialueet rajata geologisen vai hydrogeologisen kokonaisuuden mukaisesti?

2. Teorettinen viitekehys

2.1 Pohjavesi

Pohjavedeksi kutsutaan vapaasti painovoiman vaikutuksesta liikkuvaa vettä, joka täyttää yhtenäisesti maaperän huokokset ja kallioperän halkeamat (Britschgi ym. 2018c: 21). Tämän yhtenäisesti pohjavedellä kyllästyneen maa- tai kallioperän pintaa kutsutaan pohjaveden pinnaksi. Pohjaveden muodostuminen on sidoksissa ilmastollisten olosuhteiden lisäksi maanpinnan topografiaan ja maaperän ominaisuuksiin (Britschgi ym. 2018c: 21). Pohjavettä muodostuu maaperältään huokoisilla alueilla sade- ja sulamisvesistä, jolloin pohjavesi on luokiteltu uusiutuvaksi luonnonvaraksi (Soveri ym. 2001). Pohjaveden muodostumisen lisäksi on syytä tiedostaa maaperän tai maaperäkerrostuman kyky pidättää, eli varastoida pohjavettä. Pohjaveden varastoitumiseen vaikuttavat maaperän gradientti sekä maanainesten ominaisuudet (Salonen ym. 2002).

Maaperäksi kutsutaan maankuoren ylintä kerrosta, joka muodostuu irtomaalajeista, orgaanisesta aineksesta, huokosvedestä sekä ilmasta ja eliöistä (Britschgi ym. 2018c: 16). Suurin osa maamme pohjavesistä sijaitsee maaperässämme, joka soveltuu yleisesti hyvin veden varastointiin ja käyttöön. Rakoilustaan ja ruheistaan riippuen kallioperä voi varastoida käyttökelpoisia määriä pohjavettä, jota kutsutaan kallioperän pohjavedeksi. Kalliopohjaveden osuus vesihuollon kannalta on kuitenkin haja-asutusalueiden vesihuoltoa lukuun ottamatta vähäinen (Britschgi ym. 2018c: 22). Kallioperän pohjaveden rooli on huomioitava myös siksi, että kallioperä voi johtaa pohjavettä maaperämuodostumiin. Vedenhankinnan kannalta oleellimmat pohjavesimuodostumat sijaitsevat kuitenkin lajittuneissa hiekka- ja sora- ja soramuodostumissa (Kinnunen ym. 2005:10; Hanski ym. 2010: 12; Britschgi 2018c: 21).

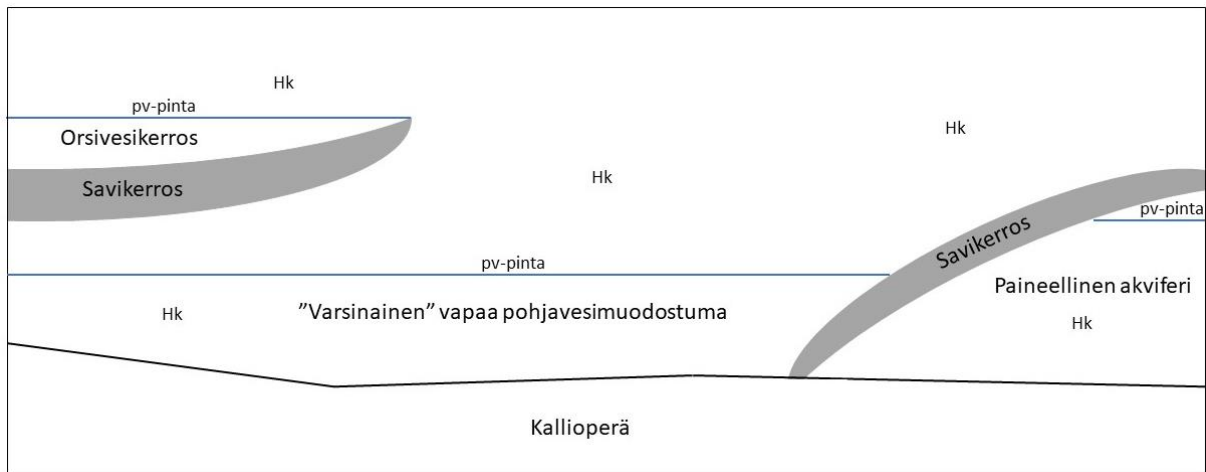
Pohjaveden kyllästävä, yhtenäistä ja hyvin vettä johtavaa maa- tai kallioperämuodostumaa kutsutaan akviferiksi (Kinnunen 2005: 152). Pohjavesiesiintymiksi kutsutaan puolestaan näitä akvifereja ympäröineen sekä muita pohjaveden hyödyntämismahdollisuuksia tarjoavia muodostumia (Kinnunen 2005: 10; Hanski ym. 2010:15). Pohjavesimuodostumaksi kutsutaan puolestaan huokoisessa maa- tai kallioperänmuodostumassa sijaitsevaa yhtenäisenä esiintymänä sijaitsevaa vettä, joka mahdollistaa hydraulisesti yhtenäisen pohjaveden virtauksen tai pohjaveden merkittävän vedenoton. Pohjavesialueiden rajausten kannalta keskeisin ja luotettavin kuvaus sisältyy lakiin vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (2004/1299), jossa pohjavesimuodostuma on määritelty 2 §:ssä:

”5) pohjavesimuodostumalla yhtenäisenä esiintymänä olevaa vettä, joka sijaitsee huokoisessa ja läpäisevässä maa- tai kallioperämuodostumassa ja joka mahdollistaa merkittävän pohjaveden virtauksen tai merkittävän pohjavedenoton;”

Akviferien tapaan Akvitardit ovat niin ikään vettä varastoivia maa- ja kallioperän muodostumia, mutta akvitardit johtavat vettä heikosti. Vesi voi tihkua akvitardien läpi, jolloin myös näillä muodostumilla on paikallisesti oma roolinsa akviferien vesivarastojen täydentäjinä. Akvikludit ovat edellä mainittujen ohella vettä varastoivia maa- ja kallioperän muodostumia, mutta akvitardeista poiketen akvikludit ovat vettä läpäisemättömiä ja niiden vesi ei ole vedenhankinnan kannalta ollenkaan käytettävissä. Akvikludeihin kuuluvat esimerkiksi savet, sillä nämä varastoivat merkittävästi vettä, mutta savien vedenjohtokyky on erittäin matala.

Akviferit voidaan jaotella vapaisiin ja paineellisiin akvifereihin (Salonen ym. 2002: 126). Vapaa pohjavesi on yhteydessä ilmakehään, kun taas paineellinen, eli salpautunut, pohjavesi rajoittuu esimerkiksi tiiviiseen maakerrokseen (kuva 1). Tiiviin salpaavan maakerroksen seurauksena vedenpinta ei pääse nousemaan ilmanpaineen, vesimassan ja geologisen ympäristön säätelämälle tasolle (Mälkki 1999: 33). Mikäli tällaisen pohjavettä salpaavan maakerroksen puhkaisee, kohoaa vesi samalle tasolle ympäristönsä kanssa. Vapaan ja salpautuneen pohjaveden välimuotona voidaan pitää puolisalpaavan kerroksen rajaamaa pohjavettä. Tällaisessa tapauksessa pohjavesi vuotaa olosuhteista riippuvalla voimakkuudella tiiviin maakerroksen läpi (Mälkki 1999:34). Nämä kaikki vaihtoehdot on huomioitava tavattaessa pohjavesialueiden maaperästä tiiviitä maakerroksia. Pohjavesialueen rajaamisen kannalta on erittäin olennaista tiedostaa, että onko kyseessä esimerkiksi puolisalpaava vai salpaava maakerros.

Akvifereistä puhuttaessa on vielä olennaista erottaa niin sanotuista tavanomaisista akvifereistä orsivesiakviferit (kuva 1). Orsivedellä tarkoitetaan huonosti vettä johtavan maakerroksen päällä sijaitsevaa vapaata pohjavesikerrosta (Hanski ym. 2010: 151). Tässä yhteydessä on huomattava, että vielä orsivesiakviferin alla voi sijaita tiiviin maakerroksen eristämänä varsinainen pohjavesimuodostuma. Tiiviin maakerroksen paksuus sekä kulloisen maa-aineksen ominaisuudet määrittävät, eristääkö maakerros pohjavesimuodostumat kokonaan toisistaan, vai tihkuuko vettä maakerroksen läpi. Orsivesikerrostumat voivat väärin tulkittuina vääristää merkittävästi varsinaisen pohjavesimuodostuman sijaintia. Siksi pohjavesitutkimusten yhteydessä on syytä huomioida tarkasti, että tavoittaako maaperäkairaus tai maatutkan signaali orsivesikerroksen- vai varsinaisen pohjavesimuodostuman pinnan. Orsivesikerrokset voivat myös olla ajoittaisia. Orsivesikerroksien paikallisista ominaispiirteistä on havaittava, että pienehkön hydraulisen johtavuuden omaavilla kerroksilla läpivirtauskapasiteetti voi ylittyä hetkellisesti esimerkiksi lumensulamiskausina, jolloin voi muodostua hetkellisiä orsivesiesiintymiä (Mälkki 1999: 33).



Kuva 1. Orsivesi sekä vapaa- ja paineellinen pohjavesi. Esimerkkikuvassa maaperän maalaji on hiekkaa lukuun ottamatta savikerroksia, jotka ovat tapauksessa orsiveden ja paineellisen pohjaveden esiintymisen edellytyksenä.

Pohjavesi on maa- ja kallioperässä jatkuvassa liikkeessä (Soveri ym. 2001: 11). Pohjavesi liikkuu maaperässä niin vertikaali-, kuin horisontaalisuuntaisesti. Vertikaaliseen liikkeeseen aiheuttaa maan vetovoima, jonka seurauksena pohjavesi vajoaa niin kutsuttuna vajovetenä maaperässä alaspäin. Tavoittaessaan pohjaveden pinnan vajovesi painaa edelleen sen alla olevan vesimassan liikkeelle, jonka seurauksena tämä vesimassan liike voi ulottua vesikerroksen syviin osiin asti (Mälkki 1999: 30). Toisin sanoen vajovesi painaa pohjavesikerroksen liikkeeseen, jonka seurauksena pohjavesi purkautuu lopulta joko vesistöön taikka lähteenä maanpinnalle. Pohjaveden liike yltää kallioperän pohjaveteen saakka, vaikka on huomattava, että kallioperän pohjaveden liike ja vaihtuminen on tavanomaisesti huomattavasti maaperän pohjavettä hitaampaa. Toisaalta pohjavesi liikkuu myös horisontaalisesti virraten korkeamman potentiometrisen pinnan alueelta matalamman pinnan alueelle (Mälkki 1999: 44). Toisin sanoen pohjavesi virtaa korkeammalla olevan pinnan alueelta kohti matalammalla olevan pinnan aluetta.

Pohjavedet yhtyvät maanpintaan soilla, vesistöissä, sekä lähteissä. Britschgin ym. (2018c: 22) mukaan pinta- ja pohjavedet ovat lähes aina vuorovaikutuksessa keskenään. Lampien ja järvien pinnoista on usein mahdollista mitata pohjaveden pinnankorkeuksia (Mäkinen 2016b).

Pohjavesimuodostuma voi olla luonteeltaan antikliininen tai synkliininen. Antikliinisissä pohjavesimuodostumissa pohjaveden pinta on ympäristöön nähden koholla (Mälkki 1999: 44). Pohjaveden virtauksen suuntautuessa korkeamman potentiometrisen pinnan alueelta matalamman pinnan alueelle antikliiniset pohjavesimuodostumat purkavat vettä ympäristöönsä, jolloin näiden virtauskuva on pääsääntöisesti pohjavesimuodostumasta ulospäin. Synkliininen pohjavesimuodostuma puolestaan kerää alueelleen pohjavettä, eli virtauskuva on pääsääntöisesti kohti pohjavesimuodostumaa. Pohjaveden pinta kaareutuu tällaisilla alueilla pohjavesialueen kohdin yleensä alaspäin. Olennaista on myös huomata, että synkliininen pohjavesimuodostuma voi jatkaa virtausta edelleen tiettyyn suuntaan (Mälkki

1999:44). Pohjavesialue voi muistuttaa tällöin esimerkiksi kourua, joka kerää vettä laajemmalla alueella ja johtaa sitä tiettyyn suuntaan. Tällaisten pohjavesialueiden virtaukset vaikuttavat usein myös olennaisesti pohjavesialueen sekä pohjaveden muodostumisalueen rajauksiin (Britschgi ym. 2009: 37).

Antikliinisiä muodostumia edustavat usein leveät ja hienoinesta sisältävät harjuvyöhykkeet tai vaihtoehtoisesti vain harjujaksojen osat, kuten deltat tai muut laajentumat (Mälkki 1999: 47). Mälkki (1999:47) jatkaa reunamuodostumien kuuluvan lähinnä harjuliitoksiaan lukuun ottamatta antikliinisiin muodostumiin. Vastaavasti synkliinisiä muodostumia sijaitsee Mälkin (1999:47) mukaan etenkin syviin laaksonosiin muodostuneissa harjuissa sekä runsaasti hienoja sedimenttejä käsittävillä alueilla. Näiden antikliinisten ja synkliinisten muodostumien välimaastoon sijoittuu tasaisen virtauskuvan alueet. Suurin osa pitkittäisharjuista kuuluu tähän virtauskuvaltaan tasaisten pohjavesialueiden piiriin. Tällaisilla alueilla virtauskuva voi vaihdella antikliinisen ja synkliinisen välillä jopa vuodenaikojen mukaan (Mälkki 1999:47). On siis huomattava, että usein antikliinisten ja synkliinisten pohjavesimuodostumien luokittelu ei ole käytännössä kovinkaan yksiselitteistä ja tilanne voidaan nähdä ennemmin liukumona synkliinisten ja antikliinisten muodostumien välillä kuin ”joko-tai” tyyllisenä luokitteluna antikliinisiin ja synkliinisiin alueisiin.

Pohjaveden pinta seurailee usein maanpinnan korkokuvaa (Salonen ym. 2002: 124; Britschgi ym. 2018c: 22). Näin ei kuitenkaan ole aina, eli esimerkiksi kalliopinnan korkokuvaa tarkastelemalla ei voida tulkita varmasti esimerkiksi haitta-aineiden kulkeumia (Kinnunen 2005: 39). Pohjaveden pinnan taso ei ole myöskään temporaalisesti stabiili, vaan se vaihtelee vuodenaikojen sekä sääolosuhteiden mukaan (Britschgi & Rintala 2016: 15). Pohjaveden pinta voi siis nousta ja laskea maaperään imeytyvän vesimäärän mukaan. Perinteisesti talvisin veden imeytyminen on maassamme vähäistä, sillä sadanta tulee lumena ja maa on roudassa. Tällöin pohjaveden pinnat tavanomaisesti laskevat. On kuitenkin huomattava, että tulevaisuudessa tilanne voi muuttua merkittävästi, mikäli ilmastonmuutoksen seurauksena yhä suurempi osuus talven sadannasta tulee vetenä, eikä toisaalta myöskään maaperä ole roudassa.

Tavanomaisesti pohjavesien pinnat lähtevät keväisin nousuun sulamisvesien imeytymisen seurauksena. Loppukesää kohti kuljettaessa pohjavesien pinnat kääntyvät puolestaan laskuun kasvaneen haihdunnan ja tavanomaisesti vähentyneiden sateiden johdosta. Tilanne muuttuu jälleen syksyllä, jolloin sadannan kasvu sekä haihdunnan väheneminen kääntää pohjavesien pinnat usein jälleen nousuun. Vuodenajat ja sääolosuhteet voivat vaikuttaa jopa pohjaveden virtaussuuntiin. Pohjaveden muodostumisesta riippuen pohjaveden virtauskuva voi jopa vaihdella antikliinisen ja synkliinisen välillä (Mälkki 1999: 47). Virtauskuvat eivät siis ole välttämättä kaikin paikoin sen enempää stabiileja, kuin pohjaveden pintakaan. Myös tämä huomio on oleellista tiedostaa pohjavesialueiden rajauksia arvioitaessa.

2.2 Pohjavesialueiden rajausta ja luokitus

2.2.1 EU:n ohjausvaikutus ja lainsäädännön muutokset

Pohjavesialueiden rajoja muutettaessa lähtökohtana on, että rajaumuutosten tulee perustua aina hydrogeologiseen tutkimustietoon (Hanski 2010: 16; Britschgi ym. 2018c: 63). On kuitenkin myös huomattava, että lisääntyvän ja tarkentuvan hydrogeologisen tiedon lisäksi pohjavesialueiden rajat ja luokitukset voivat muuttua lainsäädäntölähtöisesti lakeihin ja asetuksiin sisältyvien rajaamisperusteiden tai käytäntöjen muutosten myötä, vaikka näennäisesti aina ratkaisevana tekijänä on luonnontieteellinen hydrogeologinen tieto. Tällöin voidaan ajatella pohjavesialueiden rajojen voivan muuttua lainsäädäntölähtöisesti ainoana virallisena muuttumisperusteena pidettävän luonnontieteellisen lähtökohdan lisäksi. Lainsäädännön olennaista roolia sekä ohjausvaikutusta kuvastaa hyvin pohjavesiteeman näkyvä läsnäolo laeissamme ja asetuksissamme, joiden perusteella käytännön ohjeistus luodaan.

Vaikka pohjavesialueiden konkreettisena ja käytännössä ratkaisevana rajaamisperusteena on siis aina luonnontieteellinen tekijä, kuten kalliokynnys tai vettä heikosti johtavat maakerrokset, määrittävät lainsäädäntö ja viranomaisohjeistus kuitenkin aina sen, missä kontekstissa alueen luonnontieteellisiä aineistoja on tulkittava, noudatettava ja hyödynnettävä. Lainsäädännön kautta muodostuu siis kehikko johon luonnontieteellinen tieto asetetaan ja jonka läpi sitä tulkitaan. Voidaan ajatella, että pohjimmiltaan nimenomaan lainsäätävä määrittää millaiset geologiset ja geomorfologiset tekijät johtavat pohjavesialueen rajaamiseen, vaikka käytännön toteutus ja ohjeiden tulkinta tapausalueittain sekä kohteittain on luonnontieteellistä tietoa hyödyntävällä taholla. Vähintäänkin lainsäädännön kautta muodostuvat erilaiset tavoitteet ja vaatimukset ympäristön käytölle sekä sen tilalle ja suojaamiselle, joita käytännön luonnontieteellistä tietoa tuottavalla ja hyödyntävällä tasolla noudatetaan näiden tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamiseksi. Euroopan unionin ja kansallisen tason poliittisten ja lainsäädännöllisten päätösten vaikutukset heijastuvat siis lopulta aina maamme pohjavesialueiden rajaamiskäytäntöihin asti.

Maamme pohjavesien suojelun oikeudellinen perusta muodostuu Euroopan Unionin (EU) linjausten kautta. EU voi antaa jäsenvaltioita sitovia direktiivejä, jotka velvoittavat EU:n jäsenvaltioita saavutettavaan tulokseen nähden (Määttä & Paso 2019: 20). Direktiivit on implementoitava, eli toimeenpantava kansallisesti, mikä käytännössä tarkoittaa usein direktiivien tavoitteiden sisällyttämistä kansalliseen lainsäädäntöön. EU:n ohjausvaikutus realisoituu ensinnäkin Euroopan parlamentin ja neuvoston asettaman vesipuidedirektiivin (2000/60/EY) kautta, jonka tavoitteisiin kuuluu muun muassa pitkäjännitteiseen ja kestäväan käytettävissä olevien vesivarojen suojeluun perustuva vesienkäyttö (Vesipuidedirektiivi 2000: 2). Lisäksi kyseisen direktiivin tarkoituksiin kuuluu pohjavesien pilaantumisen estäminen, sekä pohjavesien asteittaisen pilaantumisen estäminen (Vesipuidedirektiivi 2000: 9).

Vesipuidedirektiivi asettaa pohjavesille ympäristötavoitteet, joiden mukaan pohjavesimuodostumia tulee suojella ja jonka pohjalta niiden tilaa parannetaan ja ennallistetaan (Vesipuidedirektiivi 2000: 9).

Vesipuidedirektiivi toimeenpantiin Suomessa täytäntöön vuonna 2004 voimaan tulleella vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetulla lailla (2004/1299) sekä valtioneuvoston asetuksella vesienhoitoalueista (1303/2004). Myöhemmin tämän direktiivin toimeenpanoa täydennettiin vielä valtioneuvoston asetuksella vesienhoidon järjestämisestä (2006/1040). Vuonna 2015 vesienhoitolakiin lisättiin muutoksella 1263/2014 pohjavesialueita koskeva 2a –luku, johon palataan jäljempänä vielä tarkemmin.

Vesipuidedirektiivin vesimuodostumiin kohdistamat ympäristötavoitteet on tarkoitus saavuttaa vesienhoidon suunnittelujärjestelmän avulla. Tämän suunnittelujärjestelmän lähtökohtana on tuottaa luonnontieteellistä tietoa vesimuodostumista, jonka jälkeen on mahdollista asettaa hankittuun tietoon perustuvat tarpeelliset toimenpiteet vesiympäristön tilan parantamiseksi (Britschgi ym. 2018c: 28). Vesipuidedirektiivin 4 artiklan 1 alakohdan b alakohdan mukaan pohjavesimuodostumien osalta tavoitteena on pohjaveden pilaantumista aiheuttavien aineiden pohjaveteen pääsyn estäminen ja rajoittaminen, jolloin tavoitteena on kaikkien pohjavesimuodostumien tilojen huononemisen ehkäiseminen (Vesipuidedirektiivi 2000: 9). Toiseksi vesipuidedirektiivin tavoitteena pohjavesimuodostumien suhteen on pohjavesimuodostumien suojeleminen, parantaminen ja ennallistaminen sekä vedenoton ja pohjaveden muodostumisen välisen tasapainon saavuttaminen. Tilatavoitteeseen kuuluu puolestaan pohjavesimuodostumien hyvän kemiallisen ja määrällisen tilan saavuttaminen direktiivin liitteen V vaatimusten mukaisesti (Britschgi ym. 2018c: 28). Vesipuidedirektiivin tavoitteiksi voidaan kinteyttää pohjavesien pilaantumisen ja määrällisen vähentymisen kääntäminen asteittaiseen laskuun.

Vesipuidedirektiivillä on myös sitä täydentävä tytärdirektiivi, pohjavesidirektiivi (2000/118/EY). Suomessa pohjavesidirektiivi toimeenpantiin asetuksella vesienhoidon järjestämisestä (2006/1040) ja asetuksella vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006). Pohjavesidirektiivi keskittyy pohjaveden suojeluun sen pilaantumiselta ja laadun heikkenemiseltä (Euroopan komissio 2008: 6). Oleellista on myös havaita, että sääntelyä tarkennettiin valtioneuvoston asetuksella vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (929/2016), jolloin vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetukseen (1040/2006), eli vesienhoitoasetukseen, lisättiin 2 a -luvun säännökset. Tämän seurauksena lainsäädännössä säädettyjen kriteerien perusteella uudelleentarkastellaan kaikki Suomen pohjavesialueet niiden suojelutarpeen ja vedenhankintakäyttöön soveltuvuuden perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaa pohjavesialueiden uudelleenluokittelua sekä pohjavesialueiden rajausten tarkastuksia. Näiden laki- ja asetusmuutosten välittömät vaikutukset pohjavesialueiden rajaamiseen ja hallinnointiin osoittavat osaltaan lainsäädännön ja luonnontieteellisen tiedon koherenttia olemusta.

Vesienhoidon suunnittelu käynnistyy pohjavesien osalta vesipuitedirektiivin liitteen II alakohdan 2 mukaisesti pohjavesimuodostumien ominaispiirteiden alkutarkastelulla, jossa tulee määrittellä pohjavesimuodostumien sijainnit, rajat, vedenotto ja tekopohjaveden muodostaminen, haja- ja pistekuormitukset, muodostumisalueen maa- ja kallioperän yleispiirteet, sekä erottaa ne pohjavesimuodostumat, joista pintavesien ekosysteemit, taikka maaekosysteemit ovat suoraan riippuvaisia (Vesipuitedirektiivi 2000/60/EY: 29).

Lisäksi pohjavesialueiden hallintaan vaikuttavat lainsäädäntöpuolelta EU:n direktiivi ihmisten käyttöön tarkoitetun veden laadusta (98/83/EY) eli niin sanottu juomavesidirektiivi sekä sen muutosdirektiivi (EU 2015/1787) (Britschgi ym. 2018c: 47). Juomavesidirektiivin muutoksen myötä talousveden laadun valvonnassa tulee ihmisen terveydelle aiheutuvien riskien hallitsemisen vuoksi ottaa huomioon esimerkiksi tiedot juomaveden ottoon käytetyistä vesimuodostumista (Britschgi 2018c: 47). Tämä johti osaltaan käynnissä oleviin pohjavesialueiden uudelleenluokitteluihin ja pohjavesialueiden rajojen tarkastuksiin. EU-tason linjaukset vaikuttavatkin lopulta kansallisen lainsäädännön välityksellä pohjavesialueiden rajauksiin ja luokitusperusteisiin.

2.2.2 Pohjavesialueiden rajaaminen

Pohjavesialueeksi kutsutaan suojeltua kokonaisuutta, joka muodostuu pohjavesialueen sekä sen reuna- ja yhteysalueiden muodostamasta kokonaisuudesta (Kinnunen 2005: 10; Hanski 2010: 15). Pohjavesialueet on suojeltu Ympäristönsuojelulain (YSL) 17 §:n, eli pohjaveden pilaamiskiellon perusteella (YSL 527/2014). Pohjavesialueiden rajausten ja luokitusten lähtökohtana on vedenhankinta sekä sen turvaaminen. YSL 17 §:stä riippumatta pohjavesialueiden rajoilla ja luokituksilla ei ole suoria oikeusvaikutuksia, mutta tästä huolimatta ne ovat olennaisesti mukana ympäristöä koskevassa päätöksenteossa. Pohjavesialueen rajojen sijainti ohjaa esimerkiksi pohjaveden pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittumista ympäristölupakäytännön välityksellä. Pohjavesialueiden rajojen määrittämisen suuntaviivat on sisällytetty lakiin merenhoidon ja vesienhoidon järjestämisestä (2004/1299), eli vesienhoitolakiin, sekä valtioneuvoston asetukseen vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta, eli pohjavesiasetukseen (929/2016).

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (2004/1299):

2 a luku, Pohjavesialueet

10 a § Pohjavesialueen määrittäminen

”Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus määrittää pohjaveden muodostumisalueen rajan (*muodostumisalue*) ja uloimman rajan alueelle, jolla on vaikutusta pohjavesimuodostuman veden laatuun tai muodostumiseen (*pohjavesialue*). Jos

vedenhankintakäytössä olevan tai käyttöön soveltuvan pohjavesialueen tai sen muodostumisalueen rajaa ei ilman huomattavia vaikeuksia voida määrittää, pohjavesialue voidaan määrittää myös pistemäisenä.

Pohjavesialueen määrittämiseksi alueesta laaditaan hydrogeologinen yleiskuvaus, kuvaus alueen maa- ja kallioperän yleispiirteistä sekä arvioidaan alueella muodostuvan pohjaveden määrä, vedenkorkeus ja virtaussuunnat.

Valtioneuvoston asetuksella voidaan säätää tarkemmin muodostumisalueen ja pohjavesialueen rajan määrittämisestä ja siihen liittyvistä selvityksistä.”

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (929/2016):

2 a luku, Pohjavesialueen määrittäminen ja luokitus

8 a § Pohjavesialueen rajan määrittäminen

”Pohjavesialueen raja määritetään hydrogeologisten olosuhteiden perusteella kohtaan, jossa pohjavettä johtavien maaperäkerrosten päällä on riittävän tiiviit pohjavettä suojaavat maakerrokset tai jossa pohjavettä johtavat maakerrokset päättyvät kallioon tai vettä huonosti johtavaan maaperään. Jos vettä johtavat kerrokset sijaitsevat tiiviiden maakerrosten suojaamina, pohjavesialueen rajalla osoitetaan alue, jossa pohjavettä kertyy tai pohjavesi virtaa ja jolla on merkitystä pohjaveden suojelulle ja vedenhankinnalle. Raja voidaan myös määrittää maastossa helposti havaittavaan kohtaan ottaen huomioon alueen hydrogeologiset olosuhteet.

Pohjavesialueen raja määritetään tarvittaessa vesialueelle rannan välittömään läheisyyteen.

Pohjavesialueen raja voidaan 1-2 momentista poiketen jättää määrittämättä, jos pohjavesialuetta ei voida hydrogeologisin perustein määrittää alueena maan pinnalla tai jos pohjavettä johtavat kerrokset sijaitsevat suojaavien maakerrosten alla. Tällöin pohjavesialue voidaan merkitä pisteenä kohtaan, josta vettä hyödynnetään tai tutkimusten perusteella voidaan hyödyntää. ”

Vesienhoitolain 10 a § ja niin kutsuttu pohjavesiasetus muodostavat nyt myös selvemmin lakiin ja asetuksiin kirjatut perusteet pohjavesialueiden määrittämiselle. Pohjavesialueen rajoja tarkasteltaessa on havaittava pohjavesimuodostuman sekä vertikaali-, että horisontaaliulottuvuudet. Vertikaalisesti tarkasteltuna raja ulottuu tiiviiseen maaperään tai kallioon saakka. Asetuksen mukaan pohjavesialueen raja voidaan määrittää kohtaan, jossa pohjaveden päällä on riittävän tiiviit pohjavettä suojaavat maakerrokset. Tällaisia ”riittävän tiiviitä” maakerroksia ovat esimerkiksi vähintään kolme metriä paksut savi/silttikerrostumat (Britschgi 2017; Britschgi ym. 2018c: 35). Riittävyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä maakerroksen tiiviiden ja paksuuden muodostaman kokonaisuuden riittävyttä suojaamaan pohjavesimuodostumaa pilaantumiselta, eli esimerkiksi erilaisilta haitta-aineilta.

Pohjois-Suomessa jokiuomien maaperistä on havaittu pistokairauksin savikerroksia. Näistä tiiviistä maakerroksista on vedetty suoraviivaisesti peruste alueen pohjavesialueiden rajaamiselle. On erityisen huomionarvoista, että nämä hienoaines havainnot on tehty aivan maaperän pinnasta pistokairauksin. Savi- ja silttikerrosten syvyyssulottuvuutta ei siis ole toistaiseksi tarkasteltu kovinkaan kattavasti. Pinnasta havaitut tiiviit maa-ainekset on sen sijaan aiemmissa pohjavesialueiden rajauksissa yksinkertaisesti oletettu riittävän paksuiksi, jotta niitä voidaan käyttää pohjavesialueiden rajausperusteena. Tällöin Pohjois-Suomessa jokiuomia on käytetty paikoitellen pistokairausten savihavaintojen valossa suoraan pohjavesialueiden rajausperusteena, jolloin nämä rajaukset on tehty varsin ohuin perustein.

Horisontaalisesti tarkasteltuna pohjavesialueen raja sijoitetaan uloimpaan maaston kohtaan, jolla on vaikutusta pohjavesimuodostuman veden laadun tai muodostumisen kannalta. Tavanomaisesti raja siis sijoitetaan kohtaan, jossa vettä johtavat hiekka- ja sorakerrostumat loppuvat. On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi kallioalueet voivat lisätä olennaisesti pohjavesialueen antoisuutta. Vesienhoitolain rajauskriteerien mukaisesti pohjavesialueeseen kuuluvat myös ne alueet, jotka vaikuttavat pohjavesimuodostuman veden laatuun tai määrään. Pohjavesialueen rajaamisen kannalta olennaista on se, että rajan ulkopuolisilla alueilla ei saa olla vaikutusta kyseisen pohjavesialueen pohjaveteen (Britschgi ym. 2018c: 36).

Pohjavesialueen muodostumisalue rajataan pohjavesialueen rajojen sisäpuolelle. Pohjaveden muodostumisalueen rajat voivat tosin olla myös yhteneväisiä pohjavesialueen rajojen kanssa. Pohjaveden muodostumisalueen maakerrokset ovat joko hyvin vettä johtavia maa-aineksia tai vaihtoehtoisesti kallio- tai moreenialueita, sillä jälkimmäisenä mainitut voivat myös osaltaan kerätä ja johtaa vettä sitä hyvin johtaville maa-alueille (Britschgi ym. 2009: 37). Pohjavesialueen muodostumisalueen rajausta koskevat myös omat säädöksensä ja ohjeensa, mutta tähän kokonaisuuteen ei perehdytä tällä erää tarkemmin, sillä tutkimuksen painopiste on pohjavesialueiden keskinäisissä rajoissa, eikä niinkään pohjaveden muodostumisalueiden rajauksissa ja näihin liittyvässä problematiikassa.

2.2.3 Pohjavesialueiden luokittelu

Tärkeiden pohjavesialueiden luokittelu tapahtui vuosien 1973-1976 ja 1977-1982 aikana (Rintala 2017; Britschgi 2018a). Lisäksi uudempi pohjavesialueiden kartoitus ja luokitusprosessi suoritettiin vuosien 1988 ja 1995 välillä (Rintala 2017). Näiden pohjavesitutkimusten ja -selvitysten jälkeen pohjavesitutkimuksia ovat tehneet ja tuottaneet esimerkiksi ELY-keskukset sekä yksityiset tahot, kuten pohjavesialueilla sijaitsevat erilaiset toiminnanharjoittajat. Pohjavesitutkimuksia on tehty esimerkiksi vedenhankinnan tarkoituksiin, suojelusuunnitelmien yhteydessä, POSKI-hankkeiden johdosta, tekopohjavesihankkeiden yhteydessä, pohjaveden likaantumistapauksien yhteydessä, sekä erinäisten rakennushankkeiden johdosta (Rintala 2017).

Lakia vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) muutettiin vuonna 2014, jonka seurauksena pohjavesialueiden luokitusjärjestelmä muuttui. Lakiin lisätyn 2a luvun 10 b §:n mukaisesti pohjavesialueet tullaan luokittelemaan tärkeisiin, eli ensimmäisen luokan alueisiin, ja muihin vedenhankintaan soveltuviin, eli toisen luokan alueisiin (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain muuttamisesta 1263/2014). Tarkemmin ottaen uuden lainsäädännön johdosta kaikkia pohjavesialueita tarkastellaan niiden suojelutarpeen ja vedenhankintakäytön kannalta kuin ne määritettäisiin nyt ensimmäistä kertaa. Ennen muutosta pohjavesialueet oli jaettu kolmeen luokkaan: ensimmäisen luokan tärkeisiin pohjavesialueisiin, toisen luokan vedenhankintaan soveltuviin pohjavesialueisiin ja kolmannen luokan muiksi pohjavesialueiksi.

Pohjaveden luokitusjärjestelmällä ei ole suoria oikeusvaikutuksia, vaikka on aina muistettava, että pohjavesi on muutoin suojeltu lailla. Vesienhoitolaki (1263/2014) 10 b § määrittää ensimmäisen ja toisen luokan pohjavesialueet seuraavasti:

- ”1) 1-luokkaan vedenhankintaa varten tärkeän pohjavesialueen, jonka vettä käytetään tai jota on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin;
- 2) 2-luokkaan muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesialueen, joka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksiensa perusteella soveltuu 1 kohdassa tarkoitettuun käyttöön.”

Lisäksi pohjavesialueluokan perään voidaan liittää kirjain E, mikä tarkoittaa kyseisen pohjavesialueen omaavan alueellaan siitä suoraan riippuvaisia pintavesi- tai maaekosysteemejä. E –merkintä lisätään siis tarvittaessa 1. tai 2. luokan pohjavesialueiden perään, kuten 1E. Pohjavesialueiden luokituksista puhuttaessa on vielä syytä muistaa, että pohjavesialueiden uudelleenluokittelun seurauksena kolmas luokka poistetaan kokonaan järjestelmästä. Pohjavesialueiden kokonaisuusmäärä todennäköisesti vähenee, sillä osa entisistä kolmannen luokan alueista poistuu kokonaan järjestelmästä ja toisaalta osa ensimmäisen ja toisen luokan alueista tullaan yhdistämään.

2.2.4 Pohjavesialueiden rajaaminen kokonaisuuksittain

Suomen ympäristökeskuksen ohjeistukset ovat pyrkineet johtamaan maamme pohjavesialueiden rajauksia 2000- ja 2010- luvuilla enemmän myös alueelliset kokonaisuudet huomioon ottavaan suuntaan. Ohjeistusten linjaukset kokonaisuuksien huomioimisen suhteen ovat tosin vaihdelleet 2000-luvulla. Vielä vuoden 2009 Suomen ympäristökeskuksen pohjavesien rajaamisoppaassa (Britschgi ym. 2009: 46) keskeistä oli pohjavesimuodostumien

rajaaminen hydrogeologisena kokonaisuutena, kun taas vuoden 2016 julkaistussa päivitettyssä oppaassa (luonnos) (Britschgi & Rintala 2016: 23) pohjavesialueet tuli rajata geologisten kokonaisuuksien mukaan. Uusimmassa vuoden 2018 marraskuussa ilmestyneessä oppaassa ohjeistetaan pohjavesialueet rajaamaan ”hydrologisin perustein yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi” (Britschgi ym. 2018c: 35) ja ”hydrogeologisina kokonaisuuksina” (Britschgi ym. 2018c: 56). Toisin sanoen vuoden 2018 oppaassa on palattu vuoden 2009 ohjeistuksen suuntaisiin tavoitteisiin, vuoden 2016 geologisen kokonaisuuden mukaisesta rajaamisesta. Geologisen ja hydrogeologisen kokonaisuuden mukaisen pohjavesialueiden rajaamisen käytännön puoli saa oppaassa varsin pintapuolisen huomion, vaikka näiden termien merkitys on suhteellisen suuri.

Vuoden 2016 ohjeistuksessa Suomen Ympäristökeskus (SYKE) toi pohjavesialueiden rajaamisoppaassaan ohjeistukseen uuden termin, pohjavesialueiden rajaamisen geologisten kokonaisuuksien mukaan. Tätä ennen termiä on käytetty hyvin niukalti ohjeistuksissa, eikä yhtenäistä käyttöä tai terminologiaa termille ole tämän tutkielman selvitysten mukaan myöskään tieteellisessä kirjallisuudessa. Termi geologinen kokonaisuus mainittiin mitä ilmeisimmin ensimmäistä kertaa virallisesti Suomen ympäristökeskuksen neuvottelevan virkamiehen Gustafsonin vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen lainvalmistelumuistiossa (Gustafsson 2015). Geologisen kokonaisuuden käsitettä ei ole kuitenkaan avattu sen enempää Gustafssonin muistiossa kuin SYKE:n ohjeistuksessakaan, jolloin vuoden 2016 ohjeistus nosti esille erinäisiä kysymyksiä geologisen kokonaisuuden mukaisesta pohjavesialueiden rajaamisesta.

Pohjavesialueiden rajaamisoppaassa vuodelta 2016 todettiin seuraavaa:

”Pohjavesialue rajataan aina geologisena kokonaisuutena, vaikka siihen voi sisältyä yksi tai useampi erillinen pohjavesimuodostuma”. –Britschgi & Rintala (2016:23)

Lisäksi oppaassa korostettiin, että ”muodostumat tulee ottaa huomioon geologisina kokonaisuuksina”. Nämä olivat monitulkintaisia ohjeita, sillä näillä perustein vaikutti siltä, että huomio kiinnittyisi tulevaisuudessa kyseisen ohjeistuksen valossa enemmän geologisen kokonaisuuden olemassaoloon ja säilymiseen, kuin itse pohjavesimuodostuman olemassaoloon ja säilymiseen. Mikäli toisistaan hydrologisesti erillään olevat pohjavesimuodostumat voidaan rajata yhteen geologisen kokonaisuuden perusteella, olisivat rajausperusteet poikenneet olennaisesti edeltävistä.

Termi vaikutti olevan ristiriidassa jo kappaleessa 2.2.2 käsiteltyjen lainsäädännöllisten pohjavesialueiden rajojen määrittämis- ja sijoitusperusteiden kanssa. Vesienhoitolain 2 a luvun 8 a §:n mukaisesti vettä johtavien maakerrosten päätyminen kallioon, taikka vettä huonosti johtavaan maaperään johtaa pohjavesialueen rajaamiseen. Saman pykälän mukaan pohjavesialueen raja voidaan määrittää myös kohtaan, jossa pohjavettä johtavien maaperäkerrosten päällä on riittävän paksut pohjavettä suojaavat maakerrokset, eli kuten edellä todettiin, maakerrosten tuli olla vähintään 3 metriä paksuja siltti/savikerroksia. Sen sijaan ohjeistuksessa neuvotaan, että pohjavesialue tulisi rajata geologisena kokonaisuutena,

eli tietyn geologisen kokonaisuuden mukaan, vaikka tähän sisältyisi yksi tai useampi pohjavesimuodostuma. Toisin sanoen pohjavesimuodostumia voisi erottaa toisistaan vaikkapa kalliokynnyksellä, mutta jos alue tulkitaan kuuluvan samaan geologiseen kokonaisuuteen, tulisi alue rajata yhdeksi pohjavesialueeksi.

Keskeisimmäksi tekijäksi olisi tällöin muodostunut geologinen kokonaisuus, sen säilyminen ja määrittely. Seuraavaksi tämä nosti esille kysymyksen siitä, mitä tällä geologisella kokonaisuudella tarkoitetaan käytännössä, sillä termin sisältöä ei ole määritelty ohjeistuksessa. Geologiselle kokonaisuudelle ei ole myöskään tieteellisessä kirjallisuudessa, eikä vastaavasti käytännön tasolla ohjeistuksissa tai oppaissa, yksiselitteistä universaalia määritelmää. Eri lähteissä ja tahoilla termi mielletään hyvin eri laajuuksien, tapausten ja tutkimusalueiden konteksteista riippuen. Käytännössä geologisella kokonaisuudella viitataan yleisesti vain erilaisiin ja eri kokoihin geologisiin kokonaisuuksiin, mutta termin voidaan nähdä olevan hyvin taipuisa.

Maassamme termiä on käyttänyt esimerkiksi Appelqvist ym. (2015: 75) POSKI-hankkeen kallioalueiden inventoinnin yhteydessä, todeten: ”Pirkanmaan arvokkaiden harjualueiden rajausten inventoinnin tarkistamistyössä harjualueet on rajattu ensisijaisesti geologisina kokonaisuuksina.” Lisäksi Appelqvist ym. (2015:99) toteaa Vatulanharjun ja Ulvaanharjun muodostavan selkeän geologisen kokonaisuuden. Kyseisessä lähteessä geologisilla kokonaisuuksilla viitataan maamme kontekstissa varsin suuriin geomorfologisiin kokonaisuuksiin. On toki selvää, ettei pohjavesialueiden rajaustarkoituksessa viitata näin suuriin kokonaisuuksiin, mutta selvää on myös se, että tällainen termin määrittelemättömyys on suuri haaste. Termille kun ei löydy kirjallisuudestakaan käytännössä minkäänlaista yhteneväistä käytäntöä.

Geologisen kokonaisuuden termin myötä pohjavesialueiden yleisiä määrittämisperiaatteita ei ollut tarkoitus muuttaa, vaan aiempaan ohjeistukseen perustuneet rajausperusteet olivat edelleen voimassa (Britschgi 2018b). Tällöin termi oli sisältöineen ristiriidassa yleisten pohjavesialueiden määrittämisperusteiden kanssa. Ilmeisen ristiriidan seurauksena geologisen kokonaisuuden käsite muuttui vuoden 2018 ohjeistukseen hydrogeologiseksi kokonaisuudeksi, joka rajataan puolestaan hydrogeologisin perustein. Vuosien 2016 ja 2018 välillä geologisen kokonaisuuden mukaista pohjavesialueiden rajaamista hyödynnettiin ELY-keskusten toimesta jo erinäisissä pohjavesialueiden rajaamisissa ja yhdistämisissä. Geologisen kokonaisuuden mukaista pohjavesialueiden rajaamista käytettiin kuitenkin varsin maltillisesti, eli termin perusteella suoritettujen pohjavesialueiden rajaukset muistuttivat perusteiltaan enemmän hydrogeologisen kokonaisuuden mukaista pohjavesialueiden rajaamista.

Uudessa ohjeistuksessa ei mainittu enää sanallakaan geologista kokonaisuutta. Britschgi ym. (2018c: 65) tosin toteaa seuraavaa: ”Pohjavesialueet tulee ottaa huomioon geologisina muodostumakokonaisuuksina”, mutta tällä viitattiin enemmänkin pohjavesialueiden luokitusmuutoksiin ja yleisesti pohjavesimuodostuman suojelutarpeeseen, kuin pohjavesialueiden rajaamisperusteisiin. Vuoden 2016 ohjeistuksen geologisen

kokonaisuuden mukainen rajaaminen niin sanotusti kuopattiin ja korvattiin hydrogeologisen kokonaisuuden mukaisella pohjavesialueiden rajaamisella.

Nykyisen ohjeistuksen hydrogeologisen kokonaisuuden termin tarkoituksena lienee pohjavesialueiden yhdistämisen mahdollistaminen tai sen korostaminen, mikäli siihen vain hydrogeologisten rajausperusteiden valossa on mahdollisuudet. Kuten ohjeistuksissakin todetaan, rajauksissa tulee pyrkiä ottamaan huomioon laajemmat kokonaisuudet. Hydrologisen kokonaisuuden suhteen nykyisen kirjoitusasunsa puitteissa raja tulee kuitenkin käytännössä sijoittaa täysin vastaavasti, kuin rajattaessa pohjavesialue 2 a -luvun 8 a §:n mukaisesti. Ohjeistuksessa pohjavesialueet kehoitetaan rajaamaan hydrogeologisia kokonaisuuksina ja hydrologisin perustein yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi, mutta juuri samaan lainsäädännön nykytilallakin pyritään.

2.3 Pohjois-Suomen geologiset ja geomorfologiset luonteenpiirteet

2.3.1 Pohjois-Suomen kallioperä

Pohjois-Suomen kallioperä kuuluu aivan käsivarren luoteisinta osaa lukuun ottamatta Fennoskandian kilpeen, joka koostuu arkeisista ja varhaisproterotsooisista kivilajeista (Korsman & Koistinen 1998: 3; Johansson & Kujansuu 2005: 17). Tarkemmin ottaen Arkeinen kallioperä voidaan nähdä koostuvan lähinnä granitoidisista gneisseistä ja migmatiiteistä, joiden seasta tavataan myös vulkaniittivaltaisia vihreäkivivyöhykkeitä sekä sedimenttisyntyisistä gneisseistä koostuvia vyöhykkeitä (Husa & Teeriaho 2015: 19). Osa alueen gneisseistä on myös voimakkaasti deformatuneita.

Kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna luonteenomainen piirre Suomen peruskallion kiville on niiden näennäisen huokoseton ja kova rakenne. Tällöin perusmassan hydraulinen johtavuus on hyvin pieni, tai se voi puuttua jopa kokonaan (Mälkki 1999:54). Toisaalta Mälkki (1999:54) jatkaa, että maamme tapauksessa tulee huomioida kallioperämme vanha ikä, sillä syvällä olleiden kivien jännitysten purkautuminen lisää rakoilua. Rakoiluun vaikuttaa myös kivilaji, sillä jokaisella kivilajilla on ominainen rakoilujärjestelmänsä (Aartolahti & Tikkanen 2011: 48).

Yleisesti voidaan todeta, että mitä syvemmälle kallioperässä edetään, sitä vähäisempää rakoilu on alati kasvavan vuoripaineen seurauksena (Mälkki 1999:56). Nämä kallioperän raot ovat usein täyttyneet vedellä, muodostaen kallioperän pohjaveden. Kallioperän pohjavesi on useimmiten yhteydessä maaperän pohjaveteen, vaikkakin kallioperän pohjaveden kiertoaika on huomattavan hidasta, hidastuen aina sitä mukaa mitä syvemmälle kallioperässä edetään. Kallioperän rakoilun vaihdellussa alueittain vaihtelee luonnollisesti myös kallioperän pohjaveden määrä sekä saatavuus (Mälkki 1999:54).

Rakoilun kasvaessa ja kalliolohkojen siirtyillessä on kallioperään muodostunut paikoitellen pirstoutuneita siirrosvyöhykkeitä (Mälkki 1999:54). Ruhjevyöhykkeet jakavat puolestaan kallioperää lohkoihin, joiden sisällä on edelleen pienempiä ruhjeita (Mälkki 1999:55). Nämä ruhjevyöhykkeet ovat maastossa useimmiten Mälkin (1999:56) mukaan laaksoja, vastaavasti ehyet lohkot ovat varsin usein maastossa kohollaan olevia alueita. Ruhjevyöhykkeiden ja pirstoutuneiden siirrosvyöhykkeiden sijaintien tiedostaminen on olennaista, sillä kyseiset alueet mahdollistavat huomattavasti ympäröivää kallioperää suuremman pohjaveden varastoitumisen ja virtauksen.

Lapin kallioperän luonteenpiirteistä voimme nostaa esille myös rapakallioalueet, jotka kuuluvat Keski-Lapin geologisiin ominaispiirteisiin (Kujansuu 1972). Rapakallioalueilla kallioperän rakoilu on erityisen voimakasta, jolloin kallioperään voi myös varastoitua huomattavia määriä kallioperän pohjavettä. Tälle Keski-Lapin rapakallioalueelle sijoittuvat Kolarin ja Pellon tutkimusalueet. Tavanomaisesti rapautuneen kerroksen paksuus on muutamia metrejä, mutta vaihtelu alueittain on suurta (Johansson & Kujansuu 2005: 21).

Kallioperän ja maaperän raja on Suomessa yleensä jyrkkä, eli muutos maaperästä kallioperään ei sisällä paksua vaihettumisvyöhykettä. Jääkauden aikaiset eroosivoimat nimittäin poistivat tuolloiset kallioperän pinnan rapautuneet kerrokset (Tikkanen 2002: 1). Poikkeuksena on havaittu, että Lapissa tämä raja on paikoitellen häilyvä, useiden metrien paksuisen preglasiaalinen rapautumiskerroksen peittäessä kalliopintaa niillä alueilla, joilla mannerjään kulutus on ollut vähäistä (Aartolahti & Tikkanen 2011: 17). Tällaisia paikkoja löydetään etenkin jäänjakajan alueilta (Aartolahti & Tikkanen 2011:17). On myös huomattava, että Lapissa kallioperän rapautuminen on edennyt paikoitellen syvälle, jolloin esimerkiksi rapakivialueilla on syntynyt moroksi kutsuttua rapautumissoraa. Morosta voi tällöin syntyä eräänlaisia vaihettumisvyöhykkeitä maaperän ja kallioperän välille.

2.3.2. Pohjois-Suomen deglasiaatio

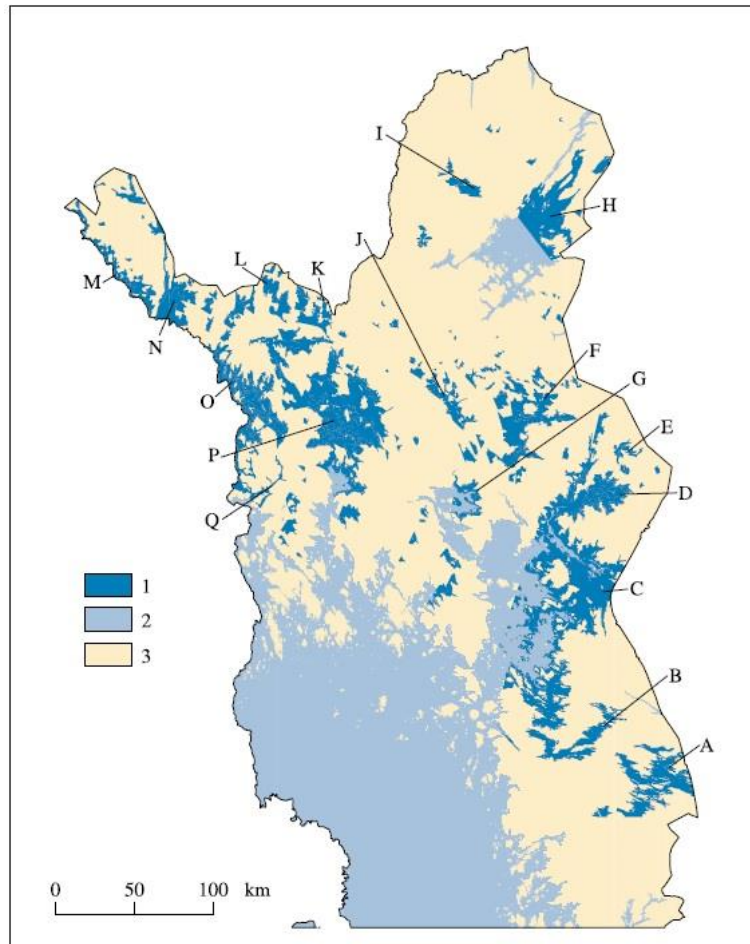
115 000 vuotta sitten alkaneen Veiksel-jääkauden aikana Suomi peittyi jäätiköiden alle (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 10). Jäätikön perääntyminen alkoi 17 000 vuotta sitten, pysähtyen hetkellisesti noin 12 700 vuotta sitten (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 10). Haavisto-Hyvärisen & Kutvosen (2007: 10) mukaan tämä nuoreksi Dryakseksi kutsuttu kausi päättyi noin 11 500 vuotta sitten, jolloin myös jääkauden katsotaan päättyneen. Tätä mannerjäätikön sulamista kutsutaan deglasiaatioksi (Johansson & Kujansuu 2005: 149). Deglasiaatioon liittyy läheisesti myös yleisesti käytetty termi, jäätikön perääntyminen, jolla viitataan käytännössä jäätikön reunan sulamiseen, mikä muistuttaa jäätikön perääntymistä. Pohjois-Suomen osalta jäätikön deglasiaatio alkoi kuitenkin vasta noin 11 600 vuotta sitten (Johansson 2007: 53). Pohjois-Suomen viimeiset jäätiköt sijaitsivat Kolarin seuduilla, josta ne vetäytyivät Ruotsin puolelle noin 10 000 vuotta sitten (Johansson

2007: 53). Veiksel-jääkauden aikaiset jäätiköt ja niiden liikkeet sulamisvesineen muovasivat maaperämme nykyisen kaltaiseen olemukseensa.

Pohjois-Suomen deglasiaatiohistoriasta on nostettava esille ensinnäkin se, että suurin osa vetäytyvästä jäästä sulii supra-akvaattisessa, eli vedenkoskemattomassa ympäristössä (Lunkka ym. 2004; Johansson 2007: 48; Johansson ym. 2011: 9). Jako supra-akvaattisten ja subakvaattisten olosuhteiden välillä on olennainen hahmottaa, sillä kyseiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi alueen geomorfologiaan. Jään reunan päätyminen kuivalle maalle, eli supra-akvaattiseen ympäristöön, tarkoittaa käytännössä sitä, että sulamisvesien aikaansaama eroosio, eli kulutus ja näiden erodoituneiden maa-ainesten kulkeutuminen ja kasautuminen loi alueelle laajan kirjon erilaisia kulutus- ja kasausmuotoja. Esimerkiksi monet jäätikköjoet purkautuivat jäätikön sisältä kuivalle maalle, jolloin syntyi viuhkamaisia ja pinnaltaan toisiaan leikkaavia uomia sisältäviä sandureita (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 26).

Subakvaattisia olosuhteita tavattiin ainoastaan Lapin kaakkoisosissa, sillä alueella velloi Ancylusjärvi (Johansson 2007: 48; Johansson ym. 2011: 9). Tällöin jään sulamisvedet virtasivat alueen osalta Ancylusjärveen, muodostaen muuhun Lappiin verrattuna hieman erilaisia geomorfologisia muodostumia.

Jäätikön sulamisvesien lisäksi on huomioitava jääjärvien ja niiden purkautumisten vaikutus Pohjois-Suomen geomorfologiaan. Jääjärviä syntyi myöhäisglasiaaliaikana ylimmän rannan yläpuolisille alueille (Johansson ja Kujansuu 2005: 127). Jääjärvellä tarkoitetaan jäätikön reunan eteen syntynyttä jäätikön patoamaa vesiallasta (Johansson ja Kujansuu 2005: 127). Usein jääjärvet asettuivat maaston painanteisiin ja kaikkein suotuisimmat olosuhteet jääjärvien synnyille olivat seuduilla, joissa jäätikkö peräytyi myötämaahan, eli jääjärven saattaessa syntyä perääntyvää jäätikköä kohti avautuviin laaksoihin (Johansson ja Kujansuu 2005: 127). Jääjärvet olivat usein pinta-aloiltaan pieniä, mutta toisaalta jääjärvet olivat usein varsin syviä.



Kuva 2. Pohjois-Suomen jääjärvet. 1 = Jääjärvien peittämä alue, 2 = Itämeren tai Jäämeren peittämä alue, 3 = vedenkoskematon alue. A = Kuusamon jääjärvi, B = Kitkan jääjärvi, C = Sallan jääjärvi, D = Värriöjoen jääjärvi, E = Soklin jääjärvi, F = Saariselän jääjärvet ja Posoaavan jääjärvi, G = Moskujärven jääjärvi, H = Inarin jääjärvi, I = Kaamasjoen jääjärvi, J = Porttipahdan jääjärvi, K = Käkkäläjoen jääjärvi, L = Pöyrisjärven jääjärvi, M = Könkämäenenon jääjärvi, N = Lätäsenon jääjärvi, O = Muonion jääjärvi, P = Ounasjoen jääjärvi ja Q = Äkäslompolon jääjärvi. Kuvan lähde: Johansson & Kujansuu 2005.

Jääjärvet vaikuttivat ympäristön geomorfologiaan pääasiassa kahdella tavalla. Ensinnäkin jääjärviin kerrostui vaihtelevasti sedimenttejä. Toisekseen jääjärvien purkautuessa nämä purkautuvat vesimassat muokkasivat eroosivoimien johdosta voimakkaasti ympäristöä. Vaikka jääjärvien pinta-alat eivät olleet suuria, niiden usein merkittävien syvyyksien johdosta omasivat ne kuitenkin voimakkaan vesivolyymien vesimassojen murtautuessa padon läpi. Jääjärvien vesimassat muokkasivat purkautuessaan olennaisesti alueiden paikallisia geomorfologisia piirteitä. Purkautuvien jääjärvien eroosivoimat muokkasivat ympäristöä muodostaen esimerkiksi kapeita mutta syviä uomia ja leveitä sekä matalia marginaali- ja ekstramarginaali uomia (Johansson 1995).

Purkaussora- ja purkaushiekkakerrostumat ovat tyypillisesti muodostuneet jääjärvien rannoille lyhytaikaisen ja voimakkaan purkausvesivirtauksen seurauksena (Johansson & Kujansuu 2005: 64). Johansson ja Kujansuu (2005: 130) esittivät keskeisen havainnon, jonka mukaan jääjärvistä lähteneet lasku-uomat ovat nykyisin useimmiten kuivina, taikka niiden

pohjilla virtaavien purojen tai jokien eroosivoimat eivät ole suhteessa näiden uomien kokoon. Tämä havainto tulee pitää mielessä tarkasteltaessa tutkimusalueiden jokiuomia.

Puhuttaessa Lapin jäärviin vaikutuksista alueen geomorfologiaan, on myös huomattava, että myös itse jäärviin kerrostui paikoitellen vaihtelevia kerrostumia sedimenttejä. Purkautuvan jäärven eroosivoimat eivät olleet siis ainoa jäärviin liittyvä geomorfologiaan vaikuttanut ilmiö. Pohjois-Suomen supra-akvaattisille alueille muodostui jäärvisedimenttejä, jotka keskittyvät etenkin alaviin ja laakeisiin jokilaaksoihin (Johansson & Kujansuu 2005: 77). Lisäksi jäätikön reunalle syntyi lateraalisesti, marginaalisesti ja ekstramarginaalisesti glasifluviaalisia muodostumia sekä vaihtelevia sora- ja hiekkapeitteitä, särkkiä ja lajittuneita terasseja. Johansson & Kujansuun (2005: 60) mukaan tällaisista muodostumista yleisimpiä ovat deltat.

2.3.3 Pohjois-Suomen geomorfologiset muodostumat

Pohjois-Suomen maaperälle ovat tyypillisiä useat eri jäätiköitymisvaiheiden aikana muodostuneet moreenipatjat (Aartolahti & Tikkanen 2011: 18). Nämä moreenipatjat peittävät kallioperää ja usein vettä johtamattomina voivat jopa vaikuttaa pohjavesialueiden rajauksiin. Vaikka tunnusomaista Pohjois-Suomen myöhäisglasiaalisille muodostumille on erilaisten kumpumoreenien runsas määrä, keskityn tässä kappaleessa tarkastelemaan vedenhankinnallisesti olennaisia geomorfologisia muodostumia, joilla on näin ollen suurempi kytkös pohjavesiin.

Geomorfologisista muodostumista olennaista on tunnistaa erityisesti harjut ja glasifluviaaliset deltat sekä sandurit, sillä nämä ovat usein tyypillisiä pohjavesimuodostumien ympäristöjä. Harjut ovat puolestaan pääosin sorasta ja hiekasta muodostuneita jäätikköjokimuodostumia, jotka ovat kasautuneet sulamisvesivirtojen toimesta jäätikköjokien railoihin, tunneleihin ja suualueille. Jäätikön ja sen sulamisvesivirtojen eroosivoimat kohdistuivat Johanssonin (1995: 17) mukaan etupäässä harjanteille ja sulamisvesivirtoihin nähden jyrkästi laskeville rinteille, kun taas kasautumista tapahtui harjanteiden tai tunturien välisillä tasaisemmilla alueilla, sekä sulamisvesivirtoihin nähden rinteiden kohoavilla sivuille ja loivasti laskeville rinteille. Vaihtelu kulutuksen ja kasautumisen välillä riippui sulamisvesivirran nopeudesta ja virran kuljetuskapasiteetista (Johansson 1995: 19).

Tyypillisimpiä ja yleisimpiä jäätikköjokien muodostamia kasautumismuotoja, eli kerrostumia ovat harjut (Johansson 1995: 22). Nämä jäätikköjokimuodostumat syntyivät mannerjäätikön sulamisvaiheen aikana jäätikön sisällä, alla ja päällä virranneiden sulamisvesien kerrostamisen seurauksena (Johansson ja Kujansuu 2005: 51). Subglasiaaliset glasiofluviaaliset sedimentit ovat usein alueellisesti tarkasti rajoittuneita ja kasautuneita, eivätkä harjut tee tähän poikkeusta (Johnson & Menziel 2002: 206). Suuri osa Pohjois-Suomen harjuista kuuluvat

subglasiaalisten harjujen ryhmään, jotka ovat kerrostuneet jäätikön pohjalla virranneen jäätikköjoen vaikutuksesta syntyneeseen sulamisvesitunneliin (Johansson & Kujansuu 2005: 52). Termillä subglasiaalinen tarkoitetaan jäätikön pohjalla tapahtunutta ilmiötä, suurin osa glasifluviaalisista muodostumista kuuluu tähän ryhmään.

Harjut saivat maa-aineksensa pääasiassa jäätikön hydrostaattisen paineen aiheuttamasta voimakkaasta subglasiaalisesta eroosiosta, jonka seurauksena jäätikön alustana oleva rikkonainen maaperä ja irtomaakerros kului ja muuttui glasifluviaaliseksi aineksi (Johansson & Kujansuu 2005: 52). Jäätikön pohjalla vallinneen voimakkaan hydrostaattisen paineen seurauksena vesi sekä maa-ainekset pyrkivät virtaamaan alenevaa painetta, eli jäätikön reunaa kohden (Johansson & Kujansuu 2005:52). Hydrostaattisen paineen johdosta sulamisvesivirrat saattoivat myös kulkea rinteitä ylöspäin (Johansson 1995: 17). Yksin pelkkä paine ei siis liikuttanut vettä jäätikön pohjalla, vaan olennaisia ovat painegradienttien erot, jolloin hydrostaattinen paine yhdessä painegradienttien erojen kanssa saa veden liikkeelle (Shreve 1972: 3).

Käytännössä tämä tarkoittaa, että jäätikön alla olleet paineminimit, eli esimerkiksi railot, rikkoutumisvyöhykkeet tai alustan topografian onkalot keräsivät vettä ja veden kyllästämaa ainesta, jonka jälkeen kerääntyvä aines alkoi puolestaan liikkua painegradientin mukaisesti tätä muodostuvaa uomaa pitkin kohti jäätikön reunaa (Johansson & Kujansuu 2005:52). Hydrostaattisen paineen johdosta sulamisvedet pystyivät erodoimaan kallioperän rikkoutumisvyöhykkeille lyhyessä ajassa merkittäviä kulutusmuotoja (Johansson 1995: 17). Vähitellen tällaisiin systeemeihin kertyi vapaata vettä, joka puolestaan voimisti aineksen kulkeutumista ja aloitti lajittumisen ja kerrostumisen sulamisvesien virtausnopeuksien mukaisesti (Johansson & Kujansuu 2005: 52).

Harju-ainesten ominaispiirteisiin kuuluu lajittuneisuus, sillä sulamisvesivirtojen kausittaisten vaihtelujen ja uoman koon sekä muodon muutokset johtivat likimain samanlaisten raekokojen kerrostumiseen omiin kerroksiinsa (Johansson 1995: 22; Johansson & Kujansuu 2005: 57-58). Sulamisvesivirrat lajittelivat, puhdistivat ja pyöristivät harjuainesta. Johanssonin ja Kujansuun (2005: 56) mukaan harjujen vallitsevina lajitekokoina ovat tavanomaisesti sora ja hiekka, mutta harjun ydinosaista voidaan löytää myös esimerkiksi kivistä sora taikka lohkarista ja kivistä koostuvaa ainesta. Harjun rakeisuuden vaihtelu on suurta niin eri muodostumajaksojen, kuin glasifluviaalisten jaksojen eri osienkin välillä (Johansson & Kujansuu 2005: 56). Harjujen kohdin hietaa hienommat maalajit puuttuvat usein kokonaan, sillä sulamisvesivirtaukset huuhtoivat näin hienot ainekset kokonaan pois (Johansson ja Kujansuu 2005:56). Harjujen lajittuneisuuteen poikkeuksena havaitaan, että toisinaan harjujen ydinosaista tavataan huonosti lajittunut moreenia muistuttava osa, joka on peräisin harjun syntyvaiheen alkuhetkiltä, jolloin vettä ei ollut vielä riittävästi lajittumisprosessin käynnistymiseen (Johansson & Kujansuu 2005: 56).

Harjut ovat usein helposti tunnistettavissa, vaikkakin tilanne on Pohjois-Suomessa paikoin tavanomaista haasteellisempi. Pohjois-Suomessa on nimittäin runsaasti epämääräisiä hiekka-

ja sorapeitteitä, lajittuneita terasseja, särkkiä, paikallisiin jääjärviin kerrostuneita kerrostumia ja jäätikön reunalle lateraalisesti, marginaalisesti ja ekstramarginaalisesti syntyneitä glasifluviaalisen muodostumia (Johansson & Kujansuu 2005: 60), jotka paikoin peittävät alleen harjujaksojen osia jolloin harjut eivät aina erotu maastosta tai vaikkapa varjostetusta korkeusmallista luonteenomaiseen ja helposti tunnistettavaan tapaansa. Yleisimpiä näistä ovat deltat.

Harjujen lisäksi merkittävä pohjaveden virtauksen ja muodostumisen mahdollistava muodostumakokonaisuuksien ryhmä ovat glasifluviaaliset deltat ja sandurit. Deltat sijaitsevat usein harjujaksojen loppupäässä, eli kohdassa, jossa jäätikköjokitunneli tai railo loppui jäätikön reunan myötä. Harjudeltat syntyivät jäätikköjen edustalle jäätikköjoen virtauksen mukanaan tuoman aineksen hajaantuessa ja kerrostuessa jäätikön edustalle. Pohjois-Suomen osalta harjudeltat kerrostuivat joko jääjärviin taikka mereen (Johansson & Kujansuu 2005: 60). Yleisesti Pohjois-Suomen alueilla aikoinaan jään patoamiin järviin tai mereen kerrostuneet harjudeltat ovat muodoltaan epäsymmetrisiä.

Muodoiltaan deltat ovat vaihtelevia, mutta luonteenomaisena piirteenä voidaan havaita jyrkkää proksimaali- eli jäätikönpuoleista reunaa sekä proksimaalireunasta lievästi ulospäin viettävää, mutta tasaista lakea ja mahdollisesti jälleen suhteellisen jyrkkää distaali- eli ulkoreunaa (Johansson & Kujansuu 2005: 60). Delttojen rakenteista on usein erotettavissa hienorakeisen vaakasuorat ja pohjanmyötäiset kerrokset. Näiden päällä keskimmäisinä kerroksina on tavanomaisesti jyrkästi viettäviä ja paksuja luiskakerroksia, ylimpänä puolestaan suhteellisen ohuita pinnanmyötäisiä vaakasuoria kerroksia (Johansson & Kujansuu 2005: 60). Vaikka delttojen maa-aines on tavanomaisesti hiekkaa, niin pinnanmyötäisissä kerroksissa sekä deltan sisältä deltaan liittyvän syöttöharjun kohdalta tavataan usein myös karkeampia lajitteita (Johansson & Kujansuu 2005: 60). Deltojen maa-ainekset ovat lähinnä hiekkaa, jota voi olla jopa useita kymmeniä metrejä. Deltojen ja sandurien olosuhteet ovat usein otollisia pohjaveden muodostumiselle ja varastoitumiselle, sillä maa-ainekset ovat usein hyvin vettä johtavia ja kerrospaksuudet ovat suuria.

Deltat voidaan jakaa edelleen karkeasti kahteen syntytavaltaan erilaiseen ryhmään. Edellä esiteltiin harjudelta, jotka olivat syntyolosuhteiltaan varsin vakaita, pitkäaikaisen vuodenaikaisen virtaaman vaihtelun vaikuttaessa kerrostumiseen. Johanssonin (1995: 24) mukaan toinen delttojen ryhmä on huuhtoutumisdeltat, jotka muodostuivat voimakkaiden ja lyhytkestoisten sulamisvesivirtojen johdosta. Tällaisissa tapauksissa virtaaman synnytti usein esimerkiksi jääjärven purkautuminen purkautumiskanavaa pitkin. Koska näissä olosuhteissa kerrostumisaika oli lyhyt, ovat tällaiset huuhtoutumisdeltat myös heikosti lajittuneita, sisältäen usein kivistä soraa (Johansson 1995: 24).

Toisin kuin deltoilta, sandureilta ei tavanomaisesti tavata jyrkkää distaaliosaa, eikä myöskään kerroksellista rakennetta (Johansson & Kujansuu 2005: 61-62). Tämä johtuu olennaisesta syntyolosuhteiden erosta, sillä deltan kerrostuessa veteen, kerrostuivat sandurit kuivalle

maalle, eli supra-akvaattisiin olosuhteisiin. Veteen kerrostuminen mahdollistaa tasaisemman kerroksellisen rakenteen virtausnopeuksien ja maa-ainesten koon vaihdellessa vuodenaikojen mukaan. Sen sijaan jäätikköjoen purkautuessa jäätikön sisältä kuivalle maalle, syntyi ennemmin viuhkamaisia ja pinnaltaan toisiaan leikkaavia uomia sisältäviä sandureita (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 26). Toisaalta sandureistakin tavataan deltalle luonteenomaisia kerrosrakenteita, sillä sandurin pinnalla virranneiden jokien virtausnopeudet vaihtelivat vuodenaikojen mukaan, jolloin sandureiden raekoostumukset voivat vaihdella sandurin kerroksista riippuen aina huonosti lajittuneesta kivistä sorasta hiekkaan (Johansson & Kujansuu 2005: 61). Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin todeta, että sandureilta puuttuu deltoille tavanomainen selkeä kerrosrakenne.

Purkaussora- purkaushiekkakerrostumat ovat syntyneet jääjärvien rannoille voimakkaiden ja lyhytkestoisten sulamisvesivirtojen johdosta (Johansson & Kujansuu 2005: 64). Purkautumissuunnan olosuhteet, sekä saatavilla olevat maa-ainekset ovat olennaisessa roolissa muodostuman muodostumisen kannalta. Purkauserrostuman muodostumiseen vaikuttaa erityisesti onko alue ollut veden peittämää vai ei.

Lapissa sulamisvedet aiheuttivat maastoon myös erilaisia uomia, kuruja ja virtatörmä (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 23). Lapissa on huomioitava eritoten tunturin rinteiden ja jäätikkökielekkeiden rajalle syntyneet niin sanotut lieveuomat. Toisaalta (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 23) mukaan uomia sekä virtatörmä syntyi myös jäätikköjokimuodostumien pinnoille. Lasku-uomat jaetaan proglasiaalisiin, marginaalisiin tai ekstramarginaalisiin uomiin, suhteessa jäätikön reunaan (Johansson ja Kujansuu 2005: 130). Lasku-uomista puhuttaessa on havaittava, että nämä eivät ole täysin luotettavia todisteita jääjärvistä, sillä osa lasku-uomista voi olla synnyltään subglasiaalisia (Johansson ja Kujansuu 2005: 130).

2.4 Maatutkaluotaus

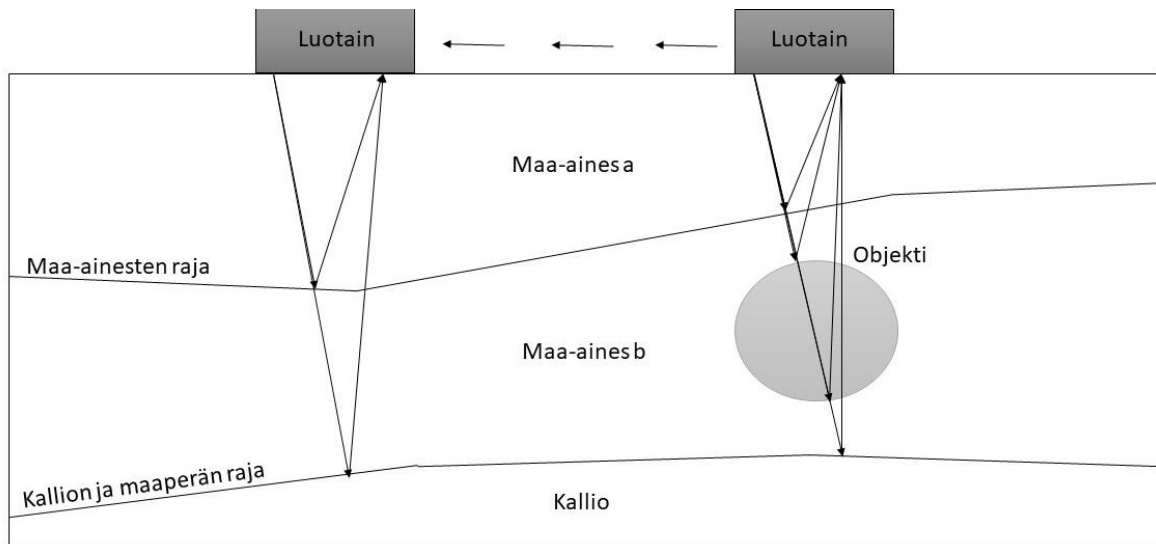
2.4.1 Maatutkaluotaus menetelmänä

Maatutkaluotaus on geofysikaalinen tutkimusmenetelmä, jolla voidaan tuottaa profiilitietoa maaperän rakenteista ja maalajeista, kallioperän muodoista, ruhjeista ja rakoiluista sekä pohjaveden pinnan tasoista (Hanski 2010:28). Maatutkaluotauksen avulla voidaan muodostaa kolmiulotteinen hahmotelma maaperän rakenteista sekä tutkan vertikaaliulottuvuudesta riippuen kallioperän pinnasta. Yleisesti geofysikaalisia mittauksia, kuten maatutkaluotausta, käytetään ensimmäisen vaiheen tutkimusmenetelmänä, jonka avulla jatkotutkimukset, kuten kairaukset voidaan sijoittaa tarkoituksenmukaisesti paikkoihin (Hanski 2010:28). Toisaalta mikäli referenssiaineistot ovat kunnossa ja mittausaineisto sidotaan tarkasti paikkaan, niin voidaan menetelmällä tuottaa myös yksityiskohtaista

informaatiota (Kinnunen 2006:82). Referenssiaineistoina voivat toimia esimerkiksi maaperäkairaukset ja muut pohjaveden pinnankorkeus tiedot.

Tietyissä tapauksissa myös käytännössä pelkin maatulkuotauksin voidaan tuottaa riittävä aineisto tutkimuskysymyksen selvittämiseksi. Esimerkiksi Mälkin (1999:131) mukaan maatulkuotus on kalliopinnan korkokuvan ja ruhjevyöhykkeiden selvittämiseksi edullinen menetelmä. Mälkin (1999:131) mukaan maatulkuotus soveltuu myös maaperän laadun ja pohjaveden pinnankorkeuden karkeaan selvittämiseen, joten menetelmän voidaan havaita sopivan moniin yleisimpiin pohjavesigeologiaa koskeviin tutkimuksiin. Yleensä paras ja varmin lopputulos saavutetaan kuitenkin useita tutkimusmenetelmiä yhdistelemällä (Hanski 2010:28). Maatulkuotuksen eduksi on katsottava sen käyttökelpoisuus laajojen pohjavesialueiden tarkasteluun (Strobach ym. 2009), kuin myös menetelmän suhteellisen alhaiset kustannukset saatavan datan määrään suhteutettuna. Neal (2004: 264) puolestaan nostaa maatulkuotuksen hyveistä esille aineiston keräämisen nopeuden ja helppouden.

Maatutkan toimintaperiaate perustuu maaperän sähköisesti toisistaan poikkeavien rajapintojen tulkintaan. Erilaiset maakerrokset sisältävät vaihtelevasti vettä, mikä puolestaan vaikuttaa maa-ainesten sähköjohtokykyyn. Tiiviillä maalajeilla on tavanomaisesti karkeita maalajeja suurempi kyky pidättää vettä, jolloin maaperän kosteusmuutokset indikoivat tavallisesti maalajin muuttumista Hanski (2010:28). Näitä maakerrosten kosteuspitoisuuksien muutoksia pystytään siis tutkimaan ja tulkitsemaan lähettämällä maankamaraan elektromagneettista energiaa, jonka vaihteluväli on megahertsien (MHz) tasolla (Neal 2004: 267). Pulssit jatkavat kulkuaan, kunnes törmäävät dialektrisiltä ominaisuuksilta erilaisiin rajapintoihin tai objekteihin (Doolittle ym. 2006: 2). Aina sähköisen rajapinnan kohdatessaan osa sähköpulslien sisältämästä aaltoenergiasta heijastuu rajapinnoista takaisin tutkaan, jolloin tutka pystyy muodostamaan heijasteista profiilin (Hänninen 1991: 6). On myös huomattava, että sähköisillä rajapinnoilla sekä heijastuva että rajapinnan läpäisevä pulssin osa vaimenee, jolloin rajapintojen määrä vaikuttaa osaltaan tutkan syvyysulottuvuuteen (Hänninen 1991: 9). Doolittlen ym. (2006: 2) mukaan takaisin heijastuvan energian määrä on riippuvainen dialektrisyyden muutoksen kontrastista kahden eri kerroksen välillä. Heijaste on siis sitä terävämpi ja korostetumpi, mitä suurempi dialektrisyyden muutos rajapinnalla on. Tällöin esimerkiksi pohjaveden pinta näkyy profiililla tavanomaisesti hyvin voimakkaana.



Kuva 3. Maatutkaluotaimen toimintaperiaate. Luotain lähettää maaperään signaalin, josta osa kimpoaa takaisin luotaimen maaperän sähköisistä rajapinnoista. Tämä signaali kimpoaa takaisin myös erilaisista objekteista, kuten suurista kivistä, lohcareista, taikka ihmistoiminnan seurauksena maahan päätyneistä objekteista, kuten putkista, sillä näiden sähkönjohtokyky poikkeaa ympäröivästä maaperästä. Signaali vaimenee aina läpäistessään sähköisen rajapinnan.

Maatutkalla maaperään lähetettävän säteilyn taajuutta (MHz) voidaan muuttaa tarpeiden mukaan. Tällä maatutkan maahan lähettämän säteilyn taajuudella on merkityksensä tutkan syvyysulottuvuuden, sekä vastaavasti muodostuvan profiilin tarkkuuden kannalta. Tutkan taajuutta säätelällä voidaan vaikuttaa positiivisesti luotauksen syvyysulottuvuuteen taikka rakenteiden erottelukykyyhin. On kuitenkin huomattava, että profiilin tarkkuus ja syvyysulottuvuus ovat toistensa suhteen kääntäen verrannollisia, eli mitä tarkempi profiili on, sitä heikompi on kyseisen profiilin vertikaaliulottuvuus. Vastaavasti mitä suurempi vertikaaliulottuvuus on, sitä heikompi tarkkuus profiililla on. Korkeita taajuuksia, eli lyhyitä aallonpituuksia, käytettäessä rakenteiden erottelukyky on siis hyvä, mutta profiilin syvyysulottuvuus laskee sironnan sekä absorptio johdosta (Knödel ym. 2007). Korkeilla taajuuksilla, joihin lukeutuu esimerkiksi 200 MHz antenni, saavutetaan matalia taajuuksia korkeampi resoluutio (Kinnunen 2006:83). Yleisimmin Suomessa toteutettavissa pohjavesitutkimuksissa käytetään 80 MHz ja 100 MHz antennia (Kinnunen 2005:83; Hanski 2010:30).

GTK:n (2016) mukaan luotauksen syvyysulottuvuus on hyvissä olosuhteissa 25-35 metriä. Karkearakeisilla maa-alueilla maatutkaluotaus tarjoaa jatkuvaa ja korkea resoluutioista dataa, joka ylettää usein pohjavedenpintaan saakka (Doolittle ym. 2006: 1). Toisaalta maatutkaluotauksen syvyysulottuvuus hienoainesta sisältävillä alueilla on melko heikko (Hanski 2010:28). Näin on myös vedenkyllästyneissä muodostumissa, sillä dialektrisyyden kasvaessa heikkenee myös tutkan syvyysulottuvuus voimakkaasti. Esimerkiksi Hännisen (1991: 10) mukaan hienorakeisissa ja vedenkyllästyneissä muodostumissa tutkan ulottuvuus voi olla 7-8 metriä. Maamme maaperän paksuudet ovat keskimäärin suhteellisen ohuita,

jolloin syvyysulottuvuudeltakaan ei ole usein tarpeen odottaa monien kymmenien metrien ulottuvuuksia.

Ensisijaisesti maatutkan syvyysulottuvuuteen vaikuttaa siis maaperän laatu. Harjualueilla maatutka on usein erittäin käyttökelpoinen menetelmä, sillä maa-aines on suhteellisen karkearakeista. Tällöin väliaineessa tapahtuva signaalin vaimeneminen on hyvin vähäistä (Hänninen 1991: 10). Tällaisissa muodostumissa väliaineen kerrosten lukumäärä ja heijastuspintojen voimakkuus ovat keskeisimmässä asemassa maatutkaluotauksen syvyysulottuvuuden kannalta (Hänninen 1991: 10). Syvyysulottuvuuteen vaikuttaa myös etäisyyden kasvamisesta johtuva vaimeneminen, joka tosin alkaa tasoittua noin kymmenen metrin jälkeen. Merkittävin muutos tapahtuu signaalin tavoittaessa pohjaveden pinnan, jonka jälkeen väliaineesta johtuva vaimeneminen muuttuu hallitsevaksi (Hänninen 1991: 10).

Hienorakeiset irtomaat, kuten hieta, hiesu, savi ja hienoainesta sisältävät moreenit, sisältävät usein vettä, jolloin myös niiden sähkönjohtavuus on suuri (Hänninen 1991: 10). Tällöin tutkan syvyysulottuvuuden kanssa voi aiheutua haasteita. Lisäksi vahvasti suolattu maanpinta voi aiheuttaa tutkalle häiriöitä, sillä suola lisää maan sähkönjohtavuutta. Tässä yhteydessä on muistettava maamme tapauksessa niin talvisuolaus, kuin kesäisin hiekkateiden pölyntorjuntaan käytetty kesäsuolaus. Huonoimmassa tapauksessa voimakkaasti suolatun maanpinnan profiilista ei saa mitään selkoa (Mäkinen 2016a). Toisaalta Mäkinen (2016c) myös toteaa, että teiden suolaus kuitenkin harvemmin estää alueen kokonaiskuvan saavuttamista, sillä jopa voimakkaasti suolattujen teiden kohdin maaperän rakenteet voidaan tulkita muutoin onnistuneen kuvan perusteella. Suolasta poiketen teiden tavanomaiset pinnoitteet, kuten asfaltti, ei aiheuta maatutkaluotaukselle estettä (Hänninen 1991:20).

Tutkan syvyysulottuvuus vaihtelee siis antennin valinnan ja maaperän ominaisuuksien mukaan. Mikäli maaperä sisältää tiiviitä maalajeja voi Hännisen (1991:9) mukaan savialueilla maatutkaluotauksen syvyysulottuvuus on alle kaksi metriä. Tämän kaltainen syvyysulottuvuus on kuitenkin aivan ääripäätä, sillä vaihtelua tapahtuu myös hienoainesalueiden välillä. Savet voivat nimittäin sisältää vaihtelevasti suolaa, savikerroksen muodostumisajankohdan olosuhteista riippuen.

Maatutkaluotausprofiilin tulkinta aloitetaan yhdistämällä referenssiaineistot luotausprofiileihin, sillä parhaaseen lopputulokseen päästään eri tutkimusmenetelmiä yhdistelemällä (Kinnunen ym. 2005: 81; Hanski 2010: 28). Referenssiaineistoihin kuuluvat ensisijaisesti maaperäkairausaineistot, pohjaveden pinnankorkeustiedot ja mahdolliset aikaisemmat geofysikaaliset tutkimusaineistot.

Maatutkaluotaus voidaan suorittaa joko moottoriajoneuvon, kuten auton, mönkijän tai moottorikelkan perässä vedettävällä laitteistolla, taikka reppumallisella jalankulkijan perässä vedettävällä reppututkalla. Yhden päivän aikana voidaan jalkaisin luodata noin kolme, koneen avustuksella parhaimmillaan jopa 20 kilometriä. On kuitenkin huomioitava, että kahden luotauspäivän aikana tuotettujen profiilien tulkintaan kuluu noin viikko (Hänninen 1991:26).

Pohjois-Suomessa kallioperää peittävän maaperän keskipaksuus on 5,9 metriä (Hirvas 1991: 6). Tutkimusalueiden sijaitessa delтта- ja harjumuodostumien luonnehtimilla alueilla, lienee tutkimusalueiden maaperien keskipaksuudet liikkuvan tämän yläpuolella. Savi- ja silttikerrostumien keskipaksuus Pohjois-Suomessa on kolme metriä (Johansson & Kujansuu 2005: 76). Tämä tarkoittaa ensinnäkin sitä, että alueittain ja tiivistä kerroksesta riippuen tutkalla voi olla vaikeuksia läpäistä kerrosta. Toisaalta keskimääräiset kolmen metrin kerrokset ovat lähellä ohjeraja-arvoa, jolloin pohjavesialueen raja voidaan määrittää tiiviiseen maakerrokseen. Mikäli tutkan syvyysulottuvuus tai kerrosläpäisevyys on riittämätön, voidaan myös tätä pitää olennaisena havaintona. Siksi maatutkaluotaus toiminee jokiuomien tiiviiden maakerrosten kartoittamisessa ja selvittämisessä hyvin, vaikka tällaisilla tiiviitä maa-aineksia omaavilla alueilla on aina myös olemassa riski siitä, ettei tutkan läpäisevyys riitä vaikkapa savikerroksen läpi. Tutkimus osoittaa käytännössä miten maatutkaluotauksien syvyysulottuvuudet riittävät tutkimuskysymyksiin vastaamiseen Pohjois-Suomen olosuhteissa.

2.4.2 Maatutkaluotausprofiilin tulkinta

Maatutkaluotausprofiilin tulkinnalla tarkoitetaan maakerrosten, geologisten ja hydrogeologisten komponenttien sekä geologisten muodostumien ja rakenteiden tunnistamista luotausprofiililta. Luotausprofiili muodostuu tutka-antennin lähettämien sähköisten pulssien kimmotessa maaperän sähköisistä rajapinnoista takaisin luotaimen. Muodostuneen profiilin tulkinnassa arvioidaan heijasteiden voimakkuuksia, suuntia ja jatkuvuuksia. Pelkän paluusignaalin perusteella tulkintaa ei voida kuitenkaan suorittaa (Hänninen 1991: 18). Maatutkaprofiili yhdessä geologisen näkemyksen kanssa johtaa profiilin tulkintaan, jossa profiilille muodostuneet heijasteet tulkitaan yhdessä referenssiaineistojen ja kulloisenkin tutkimusalueen alustavan geologisen ja geomorfologisen näkemyksen kanssa. Luotausprofiilien tulkinnan kautta tutkimusalueesta voidaan muodostaa kokonaisvaltainen käsitys, eli kokonaiskuva. Kokonaiskuva koostuu tutkimusalueen ja sen ympäristön geologiasta, geomorfologiasta ja synty- eli muodostumisolosuhteista.

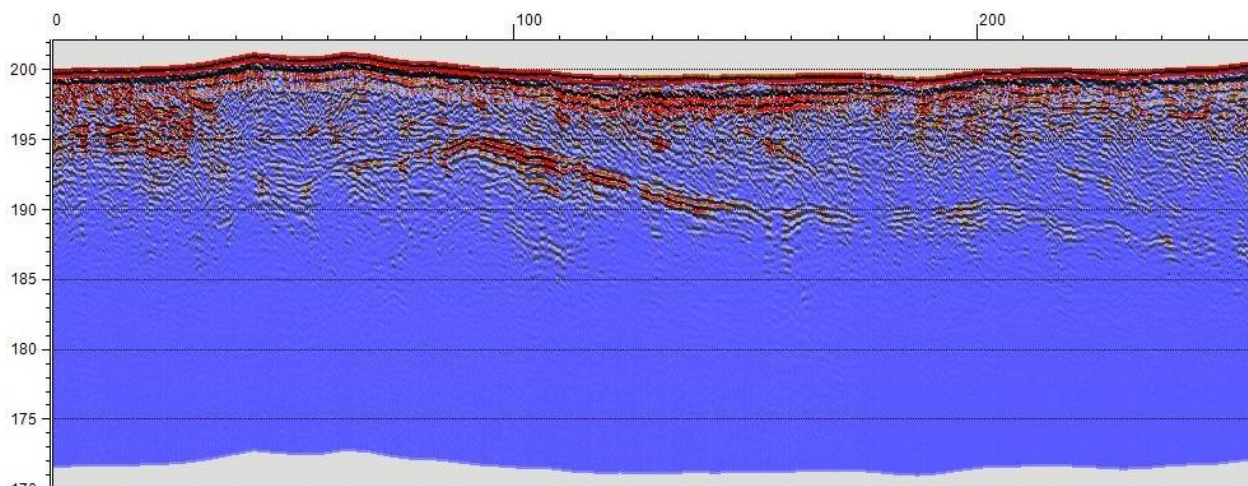
Maatutkaluotausprofiilien tulkinnan apuna olisi suotavaa hyödyntää referenssiaineistoja, kuten maaperäkairauksia. Profiilia tulkitessa tulee myös pitää mielessä tutkimusaluetta laajempi kokonaiskuva ja synty-ympäristö, eli onko kyseessä esimerkiksi subakvaattinen vai supra-akvaattinen alue. Tutkimusalueen olosuhteiden kokonaisvaltaisen ymmärryksen kautta profiililta on helpompi hakea rakenteita, joiden esiintyminen kyseisissä olosuhteissa on ylipäänsä mahdollista.

Maatutkaluotausprofiilien tulkinta suoritetaan aina tapaus- eli tutkimusaluekohtaisesti. Tällöin vedenpitäviä yleismaallisia tulkintaohjeita ei voida luoda, sillä tutka-antennin signaalin kulku maaperässä vaihtelee aina hyvin paikkakohtaisesti. Samat maa-ainekset, tai vaikkapa

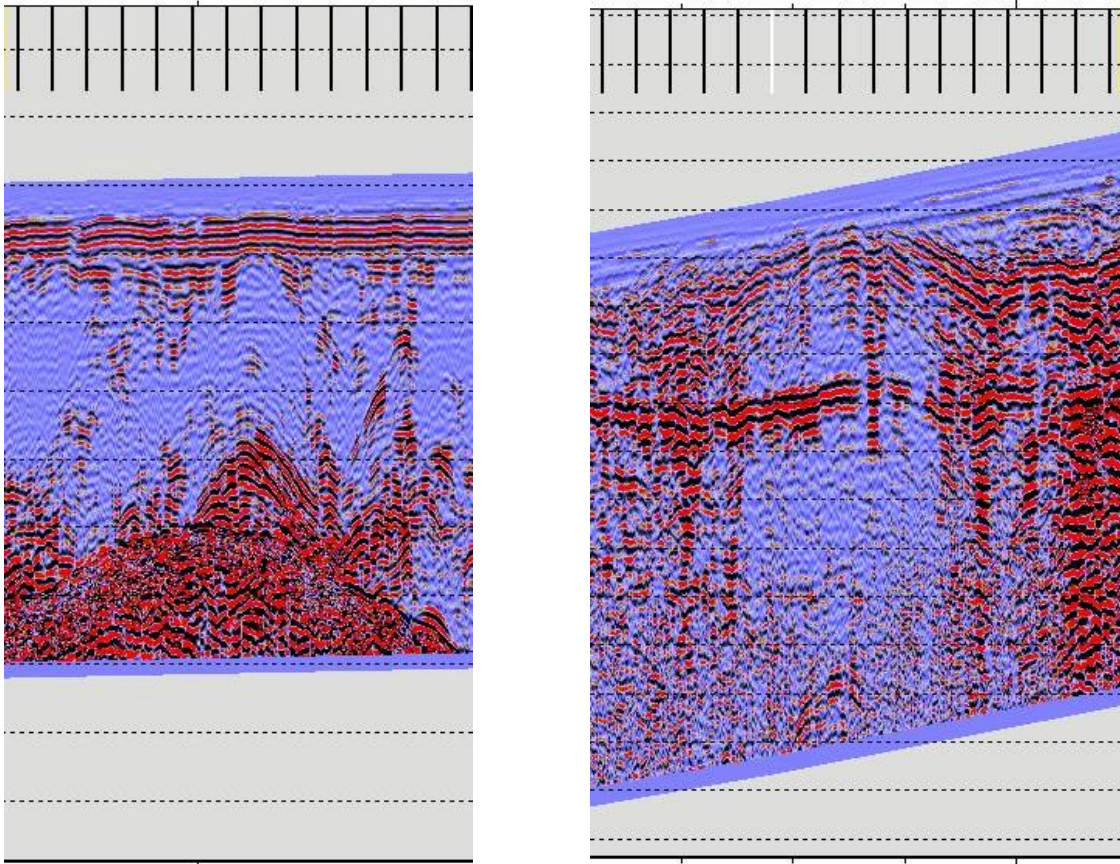
kallioperä voivat näkyä eri alueiden luotausprofiileilla hyvin vaihtelevin tavoin, sillä signaalin kulkuun ja voimakkuuteen vaikuttaa maa-aineksen raekoon ja rakenteiden lisäksi muun muassa sen sisältämän veden ja suolan määrä. Tällöin esimerkiksi sora tai hiekka voi näkyä profiililla melko tasaisen sinisenä tai voimakkaana puna-mustana heijasteena. Profiilin värien sijaan erityistä huomiota tulkinassa on annettava profiilille muodostuvien muotojen suuntautumisille, jatkuvuuksille ja voimakkuuksille.

Maatutkaluotausprofiilin tulkinta aloitetaan linjoilla hyödynnettävien referenssiaineistojen, eli useimmiten maaperäkairauksen, yhdistämisellä profiileihin. Kuvitteellisessa esimerkkitapauksessa linjalle x osuvalla maaperäkairauksella y on havaittu 0-10m hiekkaa ja 10-20m moreenia, pohjaveden pinnan sijoittuessa viiden metrin syvyydelle maanpinnasta. Tämän jälkeen profiililta aletaan etsiä näitä havaittuja maakerroksia ja pohjaveden pintaa edellä mainituilta syvyyksiltä. Kun pohjaveden pinta on profiililta löydetty, sitä on usein suhteellisen helppo seurailta, jolloin jatkuva pohjaveden pinta voidaan hahmotella koko profiilin osalta. Sama pätee pääsääntöisesti erilaisten maaperäkerrosten suhteen.

Koska maatutkaluotauslinjat pyritään sijoittamaan toisiaan risteävästi, voidaan ensimmäisen linjaprofiilin referenssiaineiston havaintoja ulottaa myös toiselle linjalle näiden linjojen risteämiskohtien vertailun kautta. Kahden linjan risteämiskohdasta tavataan samat maaperäkerrokset samoilta syvyyksiltä, samankaltaisin heijastein, vaikkakin eri kulmasta kuvattuna. Esimerkiksi harju voidaan nähdä ensimmäisellä profiililla poikkileikkauksena ja ensimmäiseen linjaan nähden 90 asteen kulmaan asettuvalla toisella linjalla pitkittäisenä profiilina (kuvat 4, 5 ja 6).

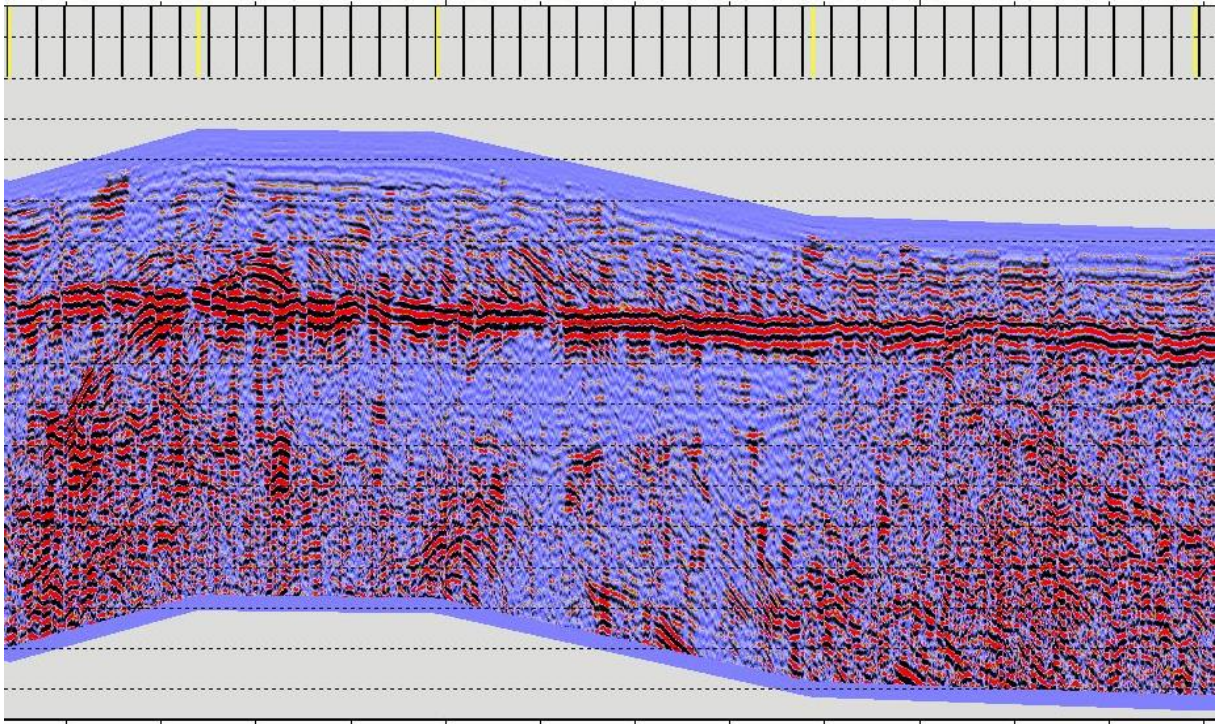


Kuva 4. Harjun pitkittäisprofiilia. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



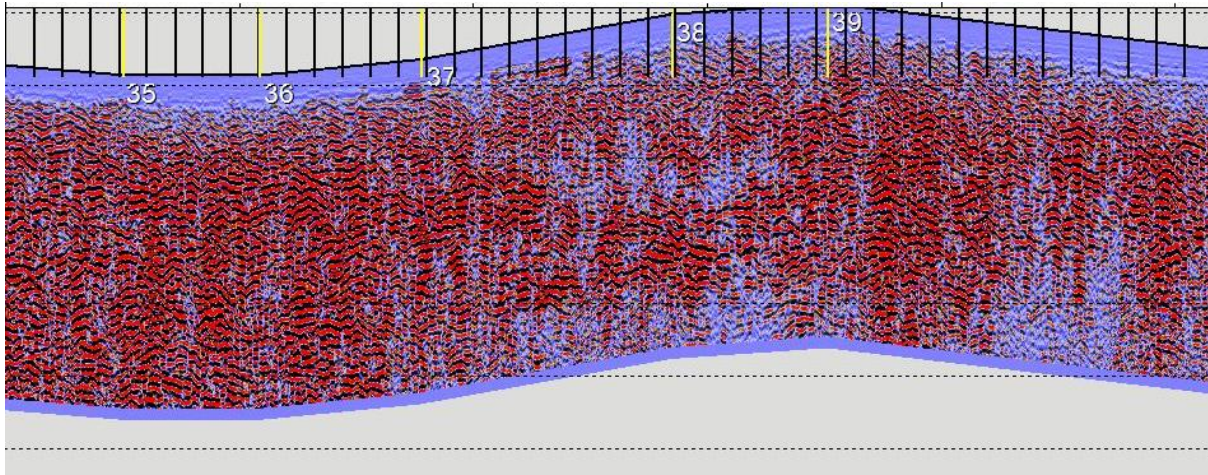
Kuvat 5. ja 6. Harjujen poikkaisprofiilileja. Maatutkadatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Pohjavedenpinta näkyy usein profiileissa melko selkeänä rajapintana (Hänninen 1991:24). Pohjaveden pinnan heijasteen ominaispiirteenä on sen jatkuvuus, eli heijaste jatkuu profiilin muiden heijasteiden ja muotojen läpi (Mäkinen 2018). Esimerkkinä erittäin selkeästi erottuvasta pohjaveden pinnasta toimii kuva 7. Pohjaveden pinnan katkeaminen, eli pohjavesimuodostuman hydrologisen yhteyden katkeaminen havaitaan profiililta pohjaveden pinnan antaman heijasteen katkeamisena tai pohjaveden pinnan tason nopeana muutoksena (Hänninen 1991: 26). Hännisen (1991:26) mukaan hydraulisen yhteyden katkeamisen aiheuttaja voidaan määrittää maatutkaluotausprofiililta yleensä helposti. Tavanomaisia pohjaveden pinnan katkaisevia tekijöitä ovat kalliokynnykset, moreenimuodot ja riittävän paksut tiiviit maakerrokset.

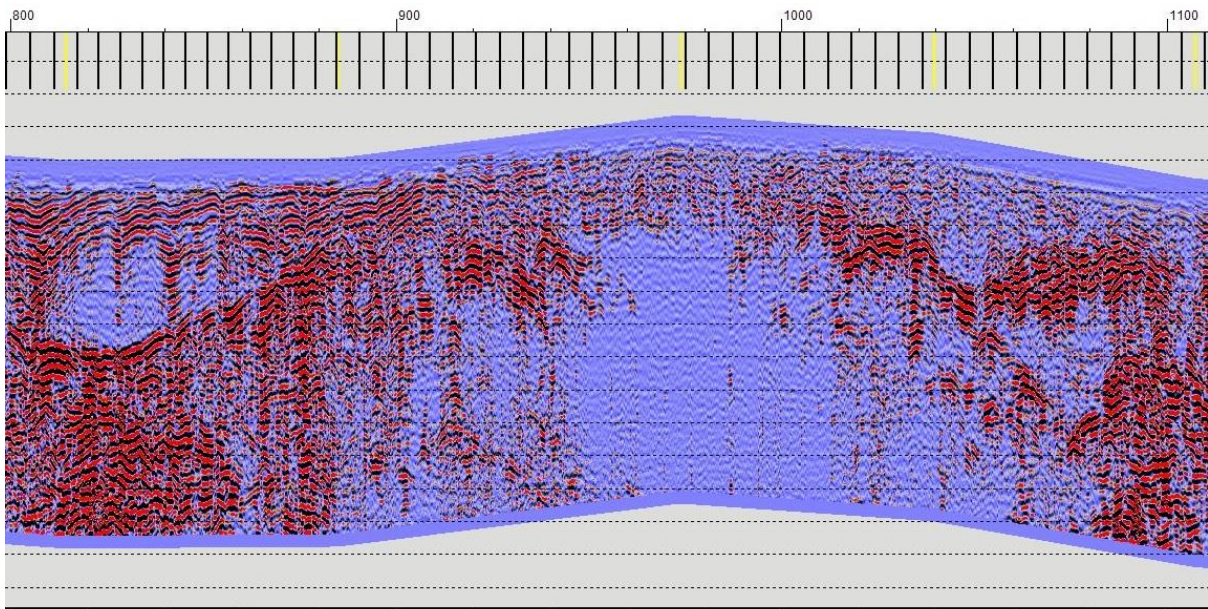


Kuva 7. Selkeästi profiilista erottuva pohjaveden pinta. Pohjaveden pinnan heijaste leikkaa tyypilliseen tapaan muut heijasteet. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Kallioperä tai sitä peittävä moreenipinta pystytään profiileilta tulkitsemaan varsin usein, jolloin Hännisen (1991: 24) mukaan maatutkaluotaus sopiikin hyvin kalliotopografian sekä kallion rakoilun ja rikkonaisuuden tutkimiseen. Ehtoina on toki tutkan syvyysulottuvuuden riittäminen, johon vaikuttaa maaperän paksuuden ohella se, ettei alueella ole paksuja hienoaineskerroksia taikka muita häiriötekijöitä. Peitteinen ehjä kallio havaitaan profiileilta paluusignaalin loppumisena (Hänninen 1991: 24), joka näkyy profiililla tavanomaisesti melko tasaisen sinisenä värinä (Mäkinen 2019) (kuva 9). Tämän sijaan rikkonaisempi kalliopinta taikka moreenipinta antaa usein voimakkaan signaalin. Kalliopinnan ollessa rikkonainen on myös sen erottaminen sitä peittävästä maakerroksesta paikoittain haastavaa (kuva 8). Voimakkaasti rakoillut kallio voikin johtaa helposti väärään tulkintaan ja tutkimustulokseen, sillä kallion raot ja halkeamat ovat usein täyttyneet joko vedellä tai ilmalla muodostaen voimakkaan sähköisen rajapinnan (Hänninen 1991: 24).



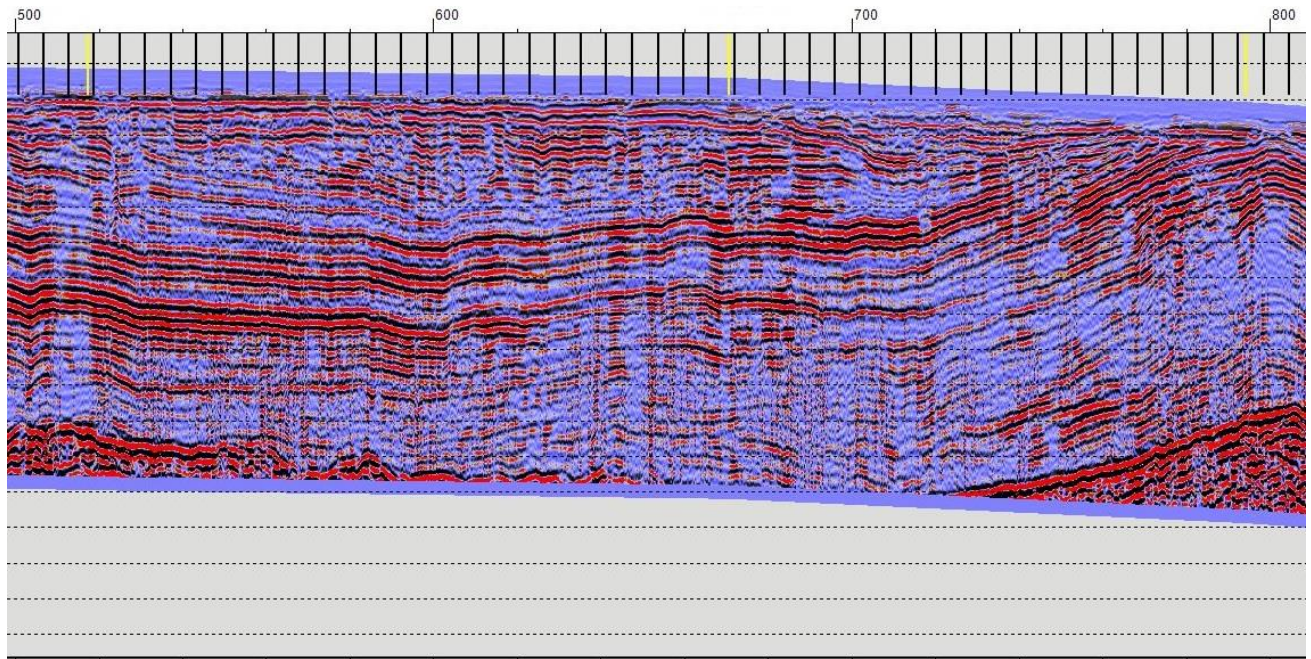
Kuva 8. Kalliopinnan ja moreenikerroksen rajan erottaminen voi olla paikoittain haastavaa. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



Kuva 9. Drumliini, jonka ehjä kalliosydän erottuu profiilista hyvin tasaisen sinisenä. Drumliinin reunoilla tulkinta moreenin ja kallion välillä on haasteellisempaa. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Glasifluviaalisten ja fluviaalisten muodostumien ominaispiirteenä on muodostumien kerroksellisuus (kuva 10), joka on helposti tunnistettavissa maatutkaluotausprofiililta (Hänninen 1991: 19). Profiilin tulkinnassa lajittuneiden maalajien maatutkaprofiileilta havaittavat kerrosrakenteet kuvaavat myös muodostuman syntyolosuhteita (Hänninen 1991: 8). Esimerkiksi harjujen poikkileikkauskerrokset (kuvat 5 ja 6) ovat usein kohtuullisen helppotulkintaisia, vaikka nämä voi paikoin sekoittaa myös piilosuppien rakenteisiin. Supan ja piilosupan tunnistamista auttaa niiden reunoilta paikoittain tavattavat savet ja siltit, jotka aiheuttavat profiiliin voimakkaan heijasteen. Harjujen materiaali on usein hiekkaa ja soraa. Hiekka voidaan usein erottaa profiililta tasaisista kerroksellisista heijasteistaan, esimerkiksi kuvan 10 uomat ovat kerrostuneet hiekasta. Mikäli hiekka on hyvin tasalaatuista, ei profiilista

ole havaittavissa selkeitä kerroksellisia rakenteita, vaan heijasteet voivat olla paikoin hyvinkin vähäisiä. Sora voi puolestaan näkyä profiililla joskus jopa kalliota muistuttavana suhteellisen tasaisena sinisenä värinä, tällainen signaali voidaan havaita paikoin esimerkiksi harjuydinten kohdalta, jossa maa-aines on hyvin karkearakeista. Toisaalta sora voi alueesta ja sen ominaispiirteistä riippuen antaa myös täysin päinvastaisen, voimakkaan paluusignaalin, josta esimerkkinä esimerkiksi kuvan 5 harjuydin.

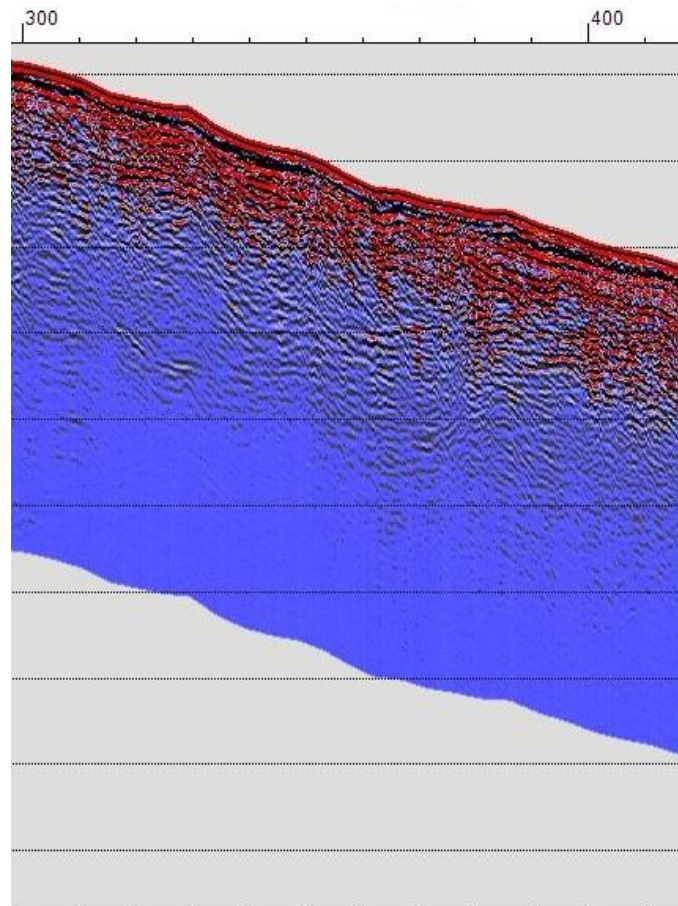


Kuva 10. Laajoja hiekkakerroksilla täyttyneitä sulamisvesiuomia. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Savet ja muut hienoainesmaalajit näkyvät profiilissa voimakkaina heijasteina, jonka perusteella ne on usein suhteellisen helppo erottaa muista maalajeista. Mikäli savia ja silttiä tavataan maanpinnalta, on profiilin heijaste maanpinnan läheisyydessä hyvin voimakas. Kuten edellä kappaleessa 2.4.1 todettiin, tämä pinnan voimakas signaali heikentää syvyyssuolittuvuutta, eli syvemmällä esiintyvien maakerrosten erottumista profiilista. Tällöin esimerkiksi moreenin ja kalliopinnan rajan tulkinta voi olla hyvin haastavaa.

Moreeni ja kivikkoiset irtomaat erottuvat profiileista röpelöisenä, runsaasti heijastavia rajapintoja sisältävinä heijasteina. Moreenit ja louhikkoiset maalajit sisältävät myös paljon katkeilevia, jatkumattomia rajapintoja, jolloin todelliset kerrosrajat rikkoontuvat ja aalto vaimenee voimakkaasti (Hänninen 1991: 11). Etenkin vettä runsaasti sisältävä moreeni voi aiheuttaa voimakkaan heijasteen, jolloin moreenin erillisten rakenteiden erottuvuus voi olla heikko. Tällaisten irtomaiden erotteleminen ilman referenssiaineistoja on vaikeaa ja heijasteet ovat helposti sekoitettavissa jopa rikkonaiseen kallioperään. Hännisen (1991: 20) mukaan moreenit voidaan sekoittaa profiilikuvan perusteella jopa harjuytimiin, vaikkakin nämä on usein erotettavissa toisistaan muotojen ja dimensioiden, eli alueen geologisten tietojen perusteella.

Rantaterassit erottuvat profiilista terassimaisina tasanteina (kuva 11). Maa-aines voi olla karkeaa tai hienoa, riippuen rannan muinaisista olosuhteista. Tällaisten muotojen havainnointi profiililta on olennaista, sillä kyseiset muodot kertovat korkeimman rannan sijainnista tutkimusalueella.



Kuva 11. Rantaterasseja. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).

3. Aineistot ja menetelmät

Tutkielman tarkoituksena on selvittää Pohjois-Suomen jokiuomien kohdin havaittujen maaperän hienoaineskerrosten vaikutuksia pohjavesialueiden rajaamisen näkökulmasta. Hypoteettisesti tämä onnistuu maatulkuotuksen avulla, sillä maatulkuotuksin voidaan tuottaa nopeasti ja kohtuullisin kustannuksin tutkimustietoa laajoilta alueilta.

Pohjavesitutkimukset alkavat aina alueella ennestään suoritettujen geologisten, geomorfologisten ja hydrogeologisten tutkimusaineistojen hankinnalla. Nämä vanhat tutkimusaineistot ovat sinällään aina merkittävä osa myös uuden tutkimuksen pohja-aineistoja, sillä ne muodostavat laajuudestaan riippuen tutkijalle kuvaa tutkimusalueesta. Vanhat tutkimusaineistot rakentavat kehikon jatkotutkimustarpeista sekä lopulta ohjaavat näitä jatkotutkimuksia tarkoituksenmukaisille paikoille.

Näistä edeltävistä tutkimusaineistoista maatulkuotusaineistot ovat tässä tutkielmassa tavanomaista suuremmissa asemassa, sillä nämä hyödynnetään osana tutkimusaineistoja. Rovaniemen, Posion ja Kolarin tutkimusalueista oli suoritettu maatulkuotuksia ennestään noin 43:men kilometrin verran.

Aineistojen kerääminen aloitettiin tavanomaiseen tapaan keräämällä kaikki saatavilla olleet tutkimusalueilla ennestään suoritettujen pohjavesitutkimukset sekä -aineistot. Nämä vanhat tutkimusaineistot kerättiin pohjavesitietokannan eli POVET:in, paikallisen Lapin ELY-keskuksen sekä GTK:n Rovaniemen ja Kokkolan osastojen kautta. GTK:n Espoon osasto oli puolestaan tutkielmassa mukana käsittelemässä näitä Rovaniemen ja Kokkolan osastoilta hankittuja maatulkuotusaineistoja.

POVET julkisena ja avoimena tietokantana toimi ensisijaisena lähteenä, josta oli saatavilla lähinnä pohjaveden pinnankorkeuksia ja pohjavesialueisiin liittyviä tietoja esimerkiksi niiden laajuudesta, antoisuuksista ja rajauspäivämääristä. POVET ei siis sisällä itse tutkimusaineistoja. Lapin ELY-keskuksen kautta saatiin kyseisen tahon arkistoihin varastoituja vanhoja 1980 ja 1990 –lukujen pohjavesitutkimuksia, sekä viime vuosina tehtyjä maastotarkasteluja ja valmiita pohjavesitutkimuksia. Lapin ELY-keskuksen kautta hankittiin myös valtaosa tämän tutkimuksen kairausaineistoista, sillä tämän tutkielman yhteydessä ei tuotettu uusia maaperäkairauksia.

GTK oli puolestaan olennainen lähde monien tutkimusaineistojen ja datojen suhteen, ennen kaikkea kaikki tutkimusalueilla jo suoritettujen maatulkuotusaineistot hankittiin GTK:n kautta. Maatulkuotuslinjoja oli saatavilla Rovaniemen tutkimusalueelta noin 700 metriä, Kolarin tutkimusalueelta noin 7,7 kilometriä ja Posion tutkimusalueelta noin 35 kilometriä. Maatulkuotusten osalta on tässä yhteydessä huomioitava erinäinen lisäyövaihe, sillä Posion ja Kolarin tutkimusalueiden maatulkuotukset eivät olleet tutkielman tekohetkellä vielä kuvamuotoisina. Maatulkuotusaineistot ovat nimittäin ensin käsittelyä vaativaa

raakadataa, josta työstetään kuvamuotoisia tiedostoja. Turun yliopiston maantieteen ja Geologian laitoksilla ei ollut käytettävissä ohjelmaa raakadatan kääntämiseksi kuvamuotoiseksi, jolloin työvaiheen suorittamiseksi hyödynnettiin Turun yliopiston maantieteen laitoksen rahoituksen kautta Espoon GTK:n palveluja. Espoon GTK:n Juha Majaniemi suoritti raakadatojen työstämisen kuvamuotoisiksi, jonka jälkeen kuvamuotoisten profiilien tulkinta oli mahdollista.

Ennestään suoritettujen tutkimusten koonnin, tarkastelun ja tulkitsemisen jälkeen aloitettiin tarpeellisten lisätutkimusten suunnittelu. Rovaniemen, Posion ja Kolarin tutkimusalueilla oli suoritettu varsin kattavat maatulkuotukset, jotka sopivat sellaisinaan tutkielman aineistoiksi. Näiden kolmen alueen kohdin uusille maatulkuotuksille ei siis ollut tarvetta, sillä maatulkuotuslinjastot kairauksineen olivat jo ennestään riittävän kattavat.

Pellon tutkimusalueella ei puolestaan ollut ennestään suoritettu sen enempää maatulkuotuksia, kuin muitakaan geofysikaalisia tutkimuksia. Sen sijaan alueella oli suoritettu erinäisiä maaperäkairauksia, joita lukumääräisesti oli varsin paljon. Kairauksista vain muutama sijoittui jokiuomien lähetyville, jonka seurauksena nämä Pellon maaperäkairaukset toimivat lähinnä arvokkaana referenssiaineistona tuleville jatkotutkimuksille. Kyseiset maaperäkairaukset eivät juurikaan selvittäneet jokiuomien vaikutuksia pohjavesialueiden rajausten kannalta, sillä muutaman pisteen tuoma tutkimustieto maaperästä ei ollut yleistettävissä laajemmalle alueella.

Pellon tutkimusalueelle ei ollut suunnitteilla GTK:n eikä Lapin ELY-keskuksen toimesta maatulkuotuksia, joten lisätutkimusten tarve alueelle oli ilmeinen. Pellon tutkimusalueelle päädyttiin suunnittelemaan uusia maatulkuolinjoja alueen kokonaiskuvan saavuttamiseksi ja jokiuomien vaikutusten tutkimiseksi. Näihin maatulkuotuksiin haettiin rahoitus (1500€) Maa- ja Vesitekniikan tuki ry:ltä. Suunnitellut maatulkuotuslinjat luotasi syksyllä 2018 GTK. Tämän jälkeen raakadata käännettiin vielä GTK:n taholta kuvamuotoisiksi tiedostoiksi. Kuvamuotoisten aineistojen saapumisen jälkeen aloitettiin profiilien tulkinta, jossa allekirjoittanut opasti ja ohjeisti FT Joni Mäkinen.

Pellon maatulkuolinjojen suunnittelussa tähdättiin kahteen päämäärään. Luotausten tulisi lisätä ymmärrystä alueen geomorfologian rakenteista ja muodostuman syntyolosuhteista, jolloin tutkimusalueesta voidaan saavuttaa mahdollisimman tarkka ja kokonaisvaltainen kokonaiskuva. Toinen päätarkoitus oli selvittää Orankijoen maaperäkerrosten laatuja, kattavuuksia ja ulottuvuuksia, joiden pohjalta voidaan avata jokiuomien validiteettia pohjavesialueiden rajausperusteena toimimiseen.

Maatulkuolinjat pyrittiin tällöin sijoittamaan ensinnäkin niin, että linjojen avulla voitaisiin rakentaa tutkimusalueesta laaja-alainen kokonaiskuva. Pohjavesialueen rajausten tarkastelun ja tutkimuksen kontekstissa erityisesti jokiuomien vaikutusten arvioinnin välttämättömänä perustana tulee olla ensin mahdollisimman kattavat tiedot pohjavesialueen geomorfologisista ominaispiirteistä. Tarkoituksena on siis selvittää millaisia

maaperärakenteita delttamainen muodostuma kätkee sisäänsä, jolloin tulkinta aloitetaan muodostuman rakennetulkinnalla. Rakennetulkinnan kannalta linjat tulee ulottua riittävän laajalle alueelle ja niiden tuli risteytyä mahdollisimman paljon. Linjojen sijoittelussa otetaan myös huomioon maaperäkairauspisteet, jotta niiden referenssitiedot voidaan hyödyntää profiilien tulkinnassa.

Orankijoen uoman maaperän savi- ja silttikerrosten tutkimiseksi maatutkalinjojen tulee myös kulkea mahdollisuuksien mukaan Orankijoen uoman yli, jotta maaperäkerrosten vaihtuminen jokiuomaa kohti liikuttaessa saadaan tutkittua. Pellon tapauksessa linjat pyrittiin siis asettamaan niin, että ne kulkisivat vähintään kerran Orankijoen yli. Tässä onnistuttiin, sillä Orankijoen jokiuoman ylittivät luotauksissa linjat 1, 2 ja 3. Merkittävää oli myös huomioida ympäristön aiheuttamat haasteet linjojen vetämiselle. Umpiryteikköön linjojen vetäminen on luonnollisesti haastavaa, ellei jopa mahdotonta. Linjojen sijoittelussa hyödynnettiin teitä ja polkuja. Tällöin ympäristön asettamia esteitä ei tulisi olla, lukuun ottamatta itse jokiuomaa.

Ottaen huomioon maatutkaluotauksen menetelmälliset ominaispiirteet, ei tutkalla voida luonnollisestikaan ylittää jokea. Kuivat tai kuivahkot jokiuomat voidaan kylläkin ylittää sellaisenaan. Tämä auttaa tutkimuksen kontekstissa, sillä itse joet virtaavat usein kapeina kaksi-kolme metriä leveinä kaistaleina laajemman jokiuoman keskellä. Tällöin jokiuoma luodattiin aina mahdollisuuksien mukaan joen törmälle saakka, jonka jälkeen luotausta jatkettiin joen vastakkaiselta törmältä. Tällöin luotaamatta jää vain aivan virran alapuolinen maaperä.

Maatutkalinjojen sijoittelussa päädyttiin edellä mainitut seikat huomioiden kuvan 16 mukaiseen ratkaisuun. Linjat ylittävät jokiuoman kolmesti ja kulkevat jokiuoman välittömässä läheisyydessä, mutta vastaavasti myös ulottavat lonkeroitaaan laajemmalle alueelle kokonaiskuvan saavuttamiseksi. Luotauksen toteutti käytännössä Geologian tutkimuskeskuksen Rovaniemen osasto syyskuussa 2018. Linjat onnistuttiin vetämään suunnitelman mukaisesti ja virheitä profiileille tuli kohtuullisen vähän, eli luotaus onnistui alueella varsin hyvin.

4. Tutkimusalueet

4.1 Tutkimusalueiden valinta

Tutkielmaan valikoitui neljä Lapin ELY-keskuksen alueella sijaitsevaa pohjavesialueiden muodostamaa kokonaisuutta. Huomattavaa on, että tutkimusalueina toimivat nimenomaan pohjavesialueiden muodostamat kokonaisuudet. Jokainen tutkimusalue muodostuu vähintään kahden ja enimmillään yhdeksän pohjavesialueen muodostamasta kokonaisuudesta. Nämä pohjavesialueet ovat osittain kiinni toisissaan ja huomio kiinnittyy ennen kaikkea näiden pohjavesialueiden keskinäisiin rajoihin, joiden perusteena on useimmiten alueen halki kulkeva jokiuoma. Aikaisemmissa pohjavesitutkimuksissa jokiuomien kohdin on havaittu pistokairauksin tiiviitä maa-aineksia, eli savia ja silttiä. Tiiviiden maa-ainesten myötä jokiuomat on nähty pohjavesialueiden rajausperusteina (katso 2.2.2, Pohjavesialueiden rajaaminen). Pohjois-Suomen 1970-1990 -lukujen pohjavesialueiden rajausprosessien aikana useimpien pinnaltaan savea sisältävien jokiuomien kohdille on sijoitettu lähtökohtaisesti aina pohjavesialueen raja. Tällöin jokiuomat ovat pilkkoneet laajempia kokonaisuuksia omiksi pohjavesialueiksi.

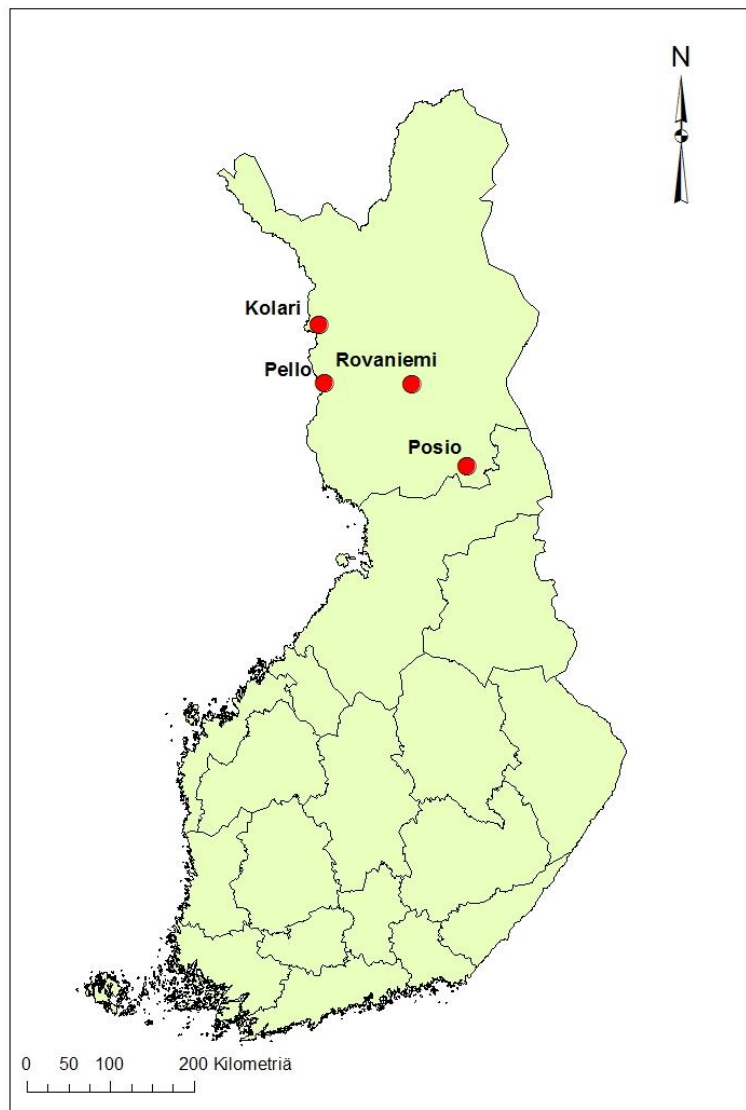
Tutkimusalueiden valinnassa ensimmäinen kohdealueiden rajaus tehtiin Lapin ELY-keskuksen toimialueen mukaan, sillä kyseinen ELY-keskus toimii tutkielman yhteistyötahona. Toisekseen tutkielman aiheen huomioiden oli luonnollista, että tutkimusalueet sisältävät useiden pohjavesialueiden muodostamia kokonaisuuksia, joita jokiuomat jakavat omiksi pohjavesialueiksi. Nämä olivat kaksi perustavanlaatuisia vaatimusta tutkimusalueiden valinnalle.

Kolmanneksi tutkimukseen pyrittiin sisällyttämään geologisilta ja geomorfologisilta olosuhteiltaan vaihtelevia tutkimusalueita. Tällöin tutkimusalueiden geologisten ja geomorfologisten olosuhteiden vaihtelun kautta saadaan luotettavampaa laaja-alaista tietoa jokiuomien vaikutuksista pohjavesialueiden rajaamiseen, kuin jos tutkimusalueet olisivat geologisilta ja geomorfologisilta olosuhteiltaan hyvin samankaltaisia. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tutkimukseen pyrittiin saamaan tutkimusalueita niin subakvaattisilta kuin supra-akvaattisiltakin alueilta, erilaisilta kallioperän vyöhykkeiltä, jäärjärvien peittämiltä alueilta sekä niiden ulottumattomista ja ennen kaikkea vaihtelevia geomorfologisia muodostumia omaavilta alueilta.

Neljänneksi tutkimusalueiden valintaan vaikuttaneena tekijänä oli alueiden sijainti, sillä tavoitteena oli, että tutkimusalueet sijaitsisivat laajalla Pohjois-Suomen kentällä edes jotenkuten samoilla alueilla. Tämä aavistuksen keskittyneempi sijainti helpottaisi tutkimuksen suorittamista, mikäli alueilla suoritetaan maastotarkasteluja, tai mikäli kenttätutkimuksia pyritään suorittamaan samana ajankohtana useilla alueilla. Lisäksi viidentenä valintakriteerinä oli yhteistyötahona toimivan Lapin ELY-keskuksen toiveiden huomioiminen tutkimusalueiden valinnan suhteen.

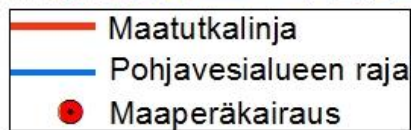
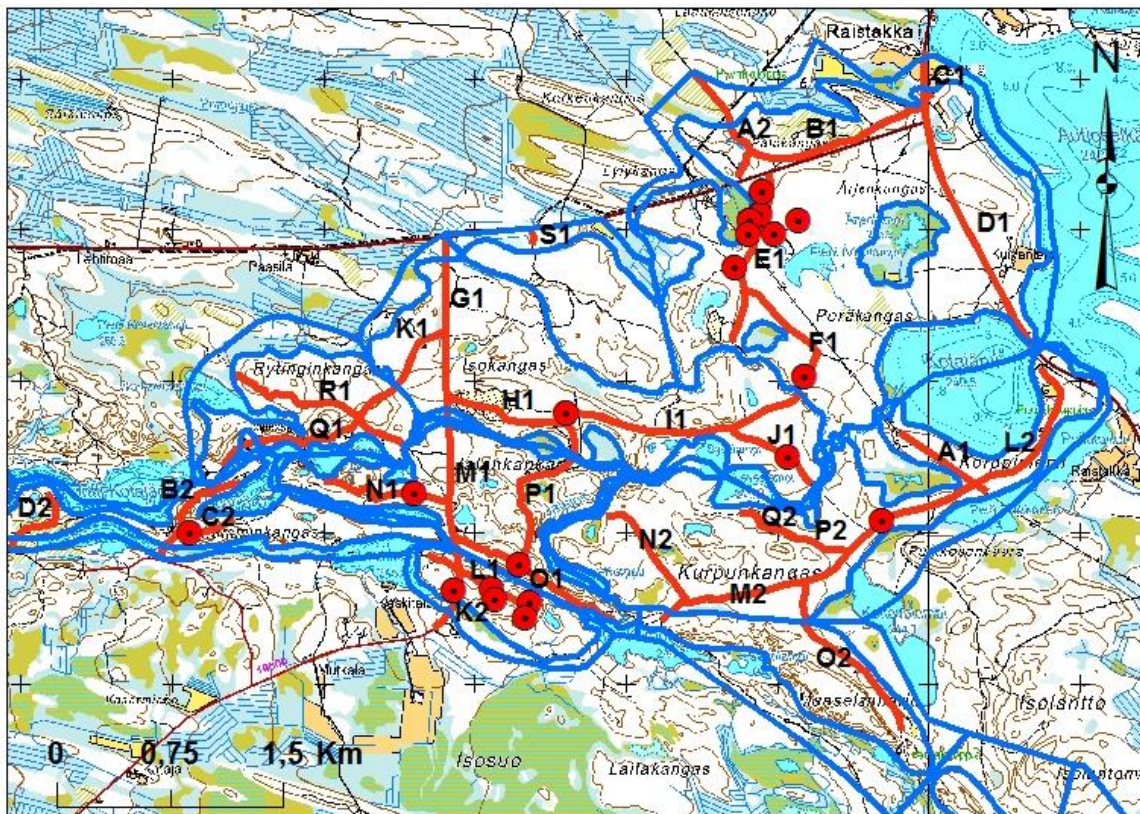
Lapin ELY-keskuksen puolesta toivottiin Posion kokonaisuuden sisällyttämistä tutkimukseen. Alue sopi hyvin muuhun valintakehikkoon, joten tämä alue valittiin ensimmäisten joukossa tutkimusalueiden joukkoon. Pellon alue valikoitui lisätutkimustarpeidensa johdosta, sillä alueella oli suoritettu ainoastaan maaperäkairauksia. Tällöin Pellon alueelle voitiin suunnitella täysin uudet maatutkaluotauslinjastot. Kolarin ja Rovaniemen tutkimusalueiden valintoja eivät ohjanneet voimakkaasti yksittäiset tekijät, vaan ne valikoituvat tutkimukseen kokonaisuuksina.

Tutkimusalueilla ennestään suoritettujen tutkimusten osalta valitut tutkimusalueet ovat vaihtelevia. Useimmat tutkimusalueilla suoritettut pohjavesitutkimukset maatutkaluotauksia lukuun ottamatta sijoittuvat pohjavesialueiden reuna-alueille, mikä on toki luonnollista. Tavanomaisesti tutkimustarpeet keskittyvät nimenomaan pohjavesialueiden ulkorajojen laajuuteen ja muotoihin.



Kuva 12. Kolarin, Pellon, Rovaniemen ja Posion kuntien mukaisesti nimetyt tutkimusalueet maamme kartalla. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, hallintorajat 2017.

4.2 Posion kokonaisuus



A1 = Kurpungas 1	G1 = Isokangas 7	N1 = Jalankangas 14
A2 = Peräkangas 1	H1 = Isokangas 8	N2 = Kurpungas 14
B1 = Peräkangas 2	I1 = Isokangas 9	O1 = Jalankangas 15
B2 = Saarilamminkangas 2	J1 = Isokangas 10	O2 = Kurpungas 15
C1 = Peräkangas 3	K1 = Isokangas 11	P1 = Jalankangas 16
C2 = Saarilamminkangas 3	K2 = Jalankangas 11	P2 = Kurpungas 16
D1 = Peräkangas 4	L1 = Jalankangas 12	Q1 = Rytinginkangas 17
D2 = Saarilamminkangas 4	L2 = Kurpungas 12	Q2 = Kurpungas 17
E1 = Peräkangas 5	M1 = Jalankangas 13	R1 = Rytinginkangas 18
F1 = Peräkangas 6	M2 = Kurpungas 13	S1 = Peräkangas 19

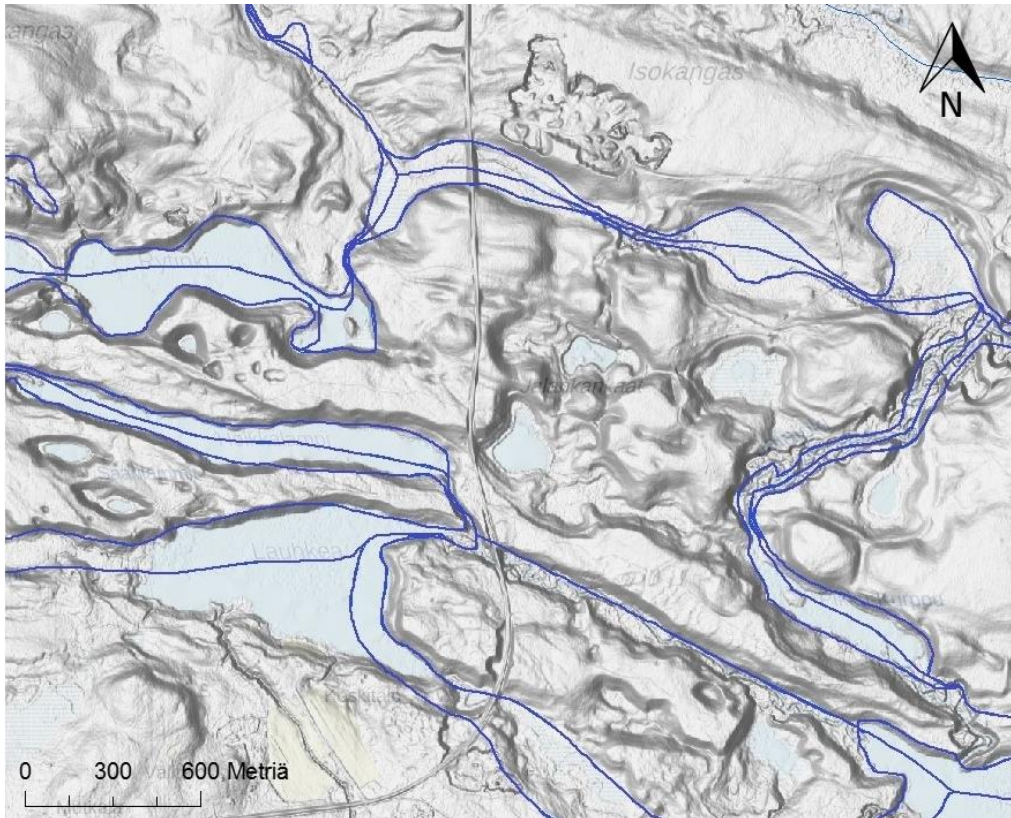
Kuva 13. Posion kokonaisuus, eli yhdeksän pohjavesialueen muodostama tutkimusalue. Kuvassa pohjavesialueiden lisäksi alueella suoritettuja keskeisiä tutkimuksia, eli maaperäkairauspisteitä ja maatutkaloituslinjoja. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

Posion keskustan lounaispuolella sijaitseva Posion tutkimusalue sisältää yhdeksän pohjavesialueen muodostaman kokonaisuuden (kuva 13). Tähän kokonaisuuteen kuuluvat:

Saarilamminkankaan pohjavesialue
Jalankankaan A ja B pohjavesialueet
Peräkankaan A ja B pohjavesialueet
Kurpunkankaan pohjavesialue
Isokankaan pohjavesialue
Rytinginkankaan pohjavesialue
Saarilampi-Kettulampi A pohjavesialue

Posion tutkimusalueen muodostaa monipuolinen geomorfologinen kokonaisuus. Alueen keskiössä on Korouomaan ja sen jatkoksi kasautunut suuri harjujakso. Tutkimusalueen kohdin tämä harjujakso on levittäytynyt myös laajoiksi selännteiksi. Posion tutkimusalue sijaitsee supra-akvaattisella alueella, jota on alueellisesti peittänyt jääjärvi (kuva 15). Varjostetun korkeusmallin avulla maanpinnalta havaitaan nopeasti häivähdys kokonaisuuden moninaisista geomorfologisista muodoista, kuten runsaat sulamisvesiuomat, jotka halkovat aluetta meanderoiden pääasiassa kohti itää, runsaat määrät suuriakin suppia, tutkimusalueen reunamien drumliinit, muinaisrannat ja suuria sekä pieniä harjujen osia. Posion tutkimusalueen paikoin paksujen peitteiden ja vaihtelevien geomorfologisten muodostumien johdosta maatumkaluotaukset tuovat lisätietoa esimerkiksi päällekkäin kasautuneista muodostumista ja kallioperän sekä moreenipinnan muodoista.

Sulamisvesiuomiin asettuneet joet, purot, lammet ja järvet toimivat useissa kohdin pohjavesialueiden rajoina, jonka seurauksena tämä laaja kokonaisuus on pirstoutunut yhdeksäksi eri pohjavesialueeksi. Ominaista tälle Posion tutkimusalueelle on pääosin meanderoivia jokiuomia seurailevien pohjavesialueiden rajojen runsas määrä (kuva 14).



Kuva 14. Posion tutkimusalueiden pohjavesialueiden rajat seurailevat jokiuomia. Pohjavesialueiden rajat ovat kuvassa sinisellä. Kuva mukaillen lähteestä: Maankamara, GTK. 5.3.2019.

Posion ympäristöä laajemmin tarkasteltaessa havaitaan kuuluisan Korouoman rotkolaakson johtavan luoteesta kohti Posion tutkimusalueita. Korouoma on osa kallioperän ruhjevyyhykettä, jonka paineellisenä virranneet sulamisvedet (Johansson ja Kujansuu 2005: 117) ja Sallan jäärvestä purkautuneet sulamisvedet tyhjensivät paikoin 100 metriä ympäröivästä maastosta laskevaksi jyrkkäreunaiseksi kanjoniksi. Korouomaan ja sen jatkeeksi kerrostui suuri harjujakso. Posion tutkimusalue on kerrostunut Korouomaa pitkin virranneiden sulamisvesien aiheuttamien maa-ainesten kasautumisen johdosta.

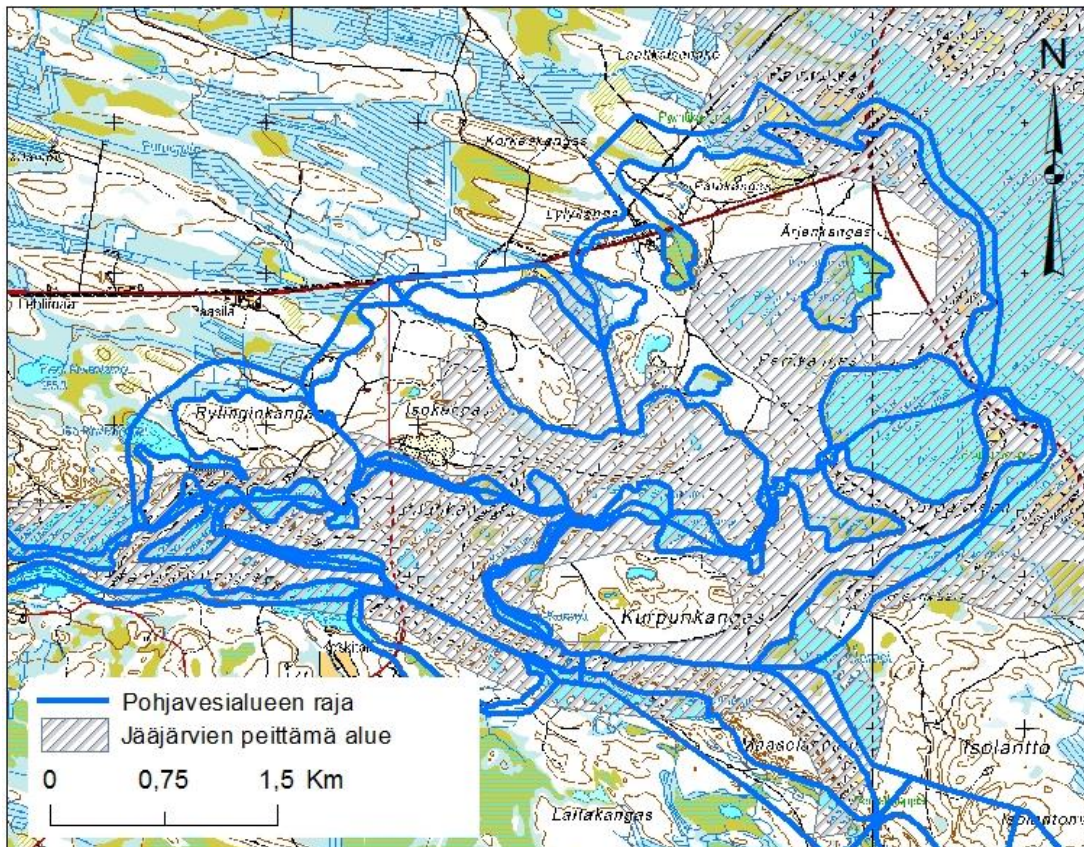
E erityisen voimakasta virtaus Korouomassa oli Sallan jäärven purkautuessa. Sallan jäärvi oli yksi Pohjois-Suomen suurimmista jäärivistä (Johansson & Kujansuu: 2005: 128), jonka vedet virtasivat alun perin Kutsajokea pitkin itään, laskien lopulta Vienanmereen (Johansson 2007: 52). Vetäytyvän jäätikön reunan johdosta Sallan jäärven muodostui sittemmin noin 10 500 vuotta sitten uusi purkautumiskanava, joka johti Korouomaan (Johansson 2007: 52). Tämä uusi lasku-uoma syntyi Johansson & Kujansuu (2005: 131) mukaan Yli-neitijärvelle, josta uoma johti etelään paineellisten sulamisvesien jo osittain puhdistamaan Korouomaan, siitä Simojärveen ja lopulta Ancylysjärveen. Johansson (2007:52) puolestaan jatkaa tämän uuden purkauskanavan aiheuttaneen jäärven pinnan laskemisen nopeasti peräti viidelläkymmenellä metrillä. Näin suuri pudotus Pohjois-Suomen suurimpiin kuuluneeseen

jääjärveen johti merkittävään vesivolyyymiin, joka edelleen tyhjensi tehokkaasti Korouomaa ja kuljetti maa-aineksia pääasiallisesti Korouoman suuntaisesti kaakkoon.

Posion tutkimusalueen pintamaalajeina ovat pääasiassa hiekka ja sora. Kairaushavaintojen mukaan tämän pintakerroksen alla on vaihtelevan paksuinen moreenikerros ennen peruskalliota. Jokiuomista on puolestaan tavattu pistokairauksin savikerroksia. Maaperän paksuus on varsin vaihteleva. Alueen pohjoisosissa paksuus vaihtelee kymmenen metrin molemmin puolin, kun taas lounais- ja eteläosissa kallioperää ei ole tavoitettu edes 36 metriä syvien kairausten voimin. Toisin sanoen maaperän paksuus kasvaa alueen pohjoisosista etelään liikuttaessa. Eteläisten osien merkittävien maaperän kerrospaksuuksien vuoksi kallioperää, eikä aina edes moreenipintaa, voida tavoittaa maatutkaluotauksilla. Maatutkaprofiilien tulkinnan jälkeen voidaan osoittaa, kuinka tämä vaikuttaa maatutkaluotausten tulkintaan, alueen kokonaiskuvan saavuttamisen ja lopulta tarkkoihin tutkimuskysymyksiin vastaamiseen.

Maaperän vaihtelevasta paksuudesta poiketen pohjaveden pinta on merenpinnasta mitattuna tutkimusalueen luoteisosia lukuun ottamatta suhteellisen tasainen. Sen sijaan pohjaveden pinta vaihtelee voimakkaasti suhteessa maanpintaan. Alueen pohjoisosissa osissa pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa, kun taas eteläisissä osissa pohjaveden pinta on yli kymmenen metriä maanpinnan alapuolella.

Posion tutkimusalueen aineistot koostuvat pääasiassa GTK:n POSKI2-hankkeiden kairauksista (GTK 2017a) ja alueella saman hankkeen aikana (2016-2019) suoritetuista maatutkaluotauksista (GTK 2017d), jotka toimivat osana tutkielman aineistoja. Referenssiaineistoina maatutkaluotauksille käytettiin myös vuoden 1992 maaperäkairauksia (Posion pohjavesitutkimukset 1992). POSKI2-hankkeen aikana Posion muodostumakokonaisuuden alueella maatutkaluodattiin 37 maatutkaluotauskilometriä (Kuva 13). Nämä maatutkaluotaukset sijoittuvat varsin kattavasti eri puolille tutkimusaluetta, jolloin alueesta voitaneen näiden aineistojen avulla muodostaa hyvä kokonaiskuva. Tämän lisäksi maatutkalinjat ylittävät monissa kohdin jokiuomia, joten jokiuomien maa-aineksista saadaan laadukkaita aineistoja savikerrosten tarkasteluun.



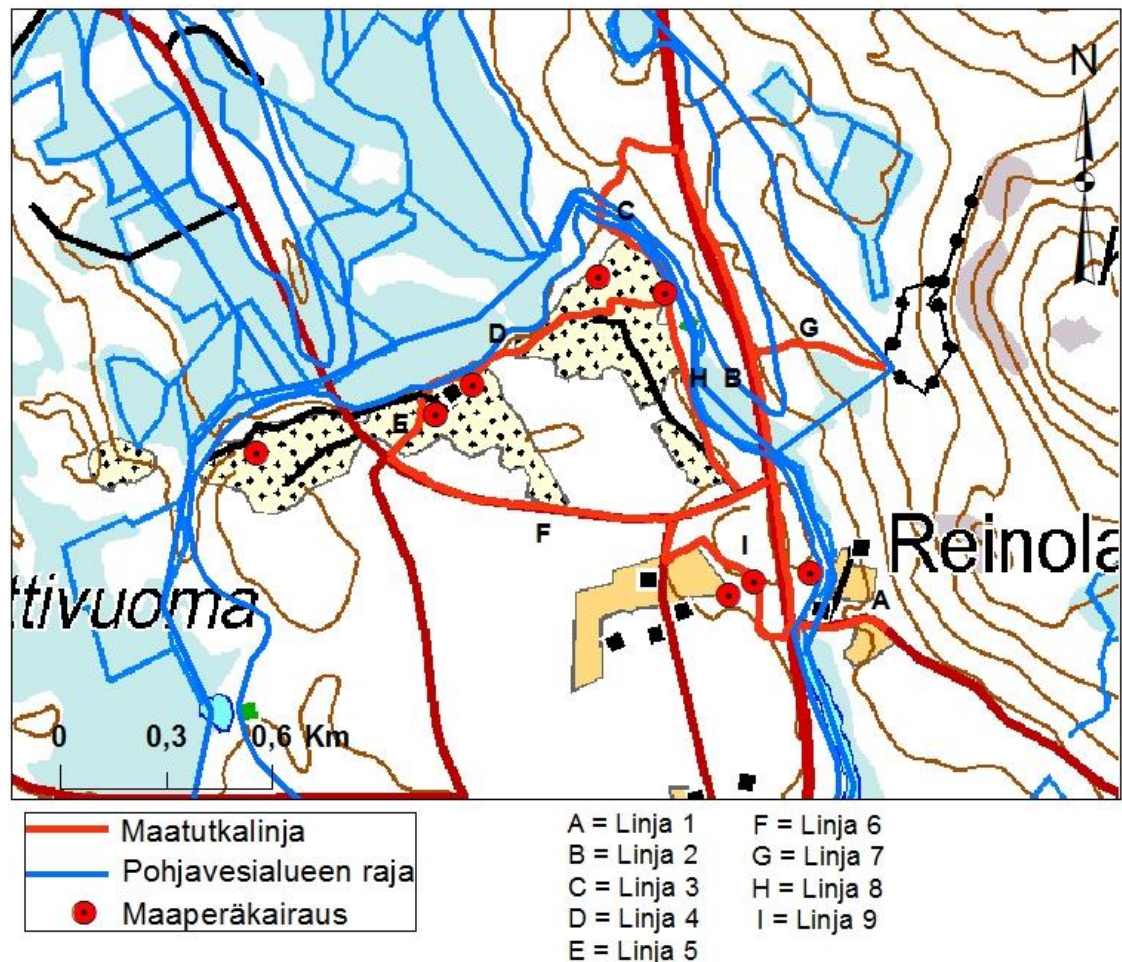
Kuva 15. Posion tutkimusalue, jääjärvien peittämät alueet. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

4.3 Pellon kokonaisuus

Pellon tutkimusalue koostuu Myllylaen ja Saukonmäen pohjavesialueista. Pellon tutkimusalueen muodostaa Orajärvenkankaan harjudelta, jonka suurin lakikorkeus on luoteisosien 140 metriä (Pellon arvokkaat harjualueet s.a.). Orajärvenkangas muodostaa harjudeltan pääosan, Saukonmäen alue sijaitsee muodostuman luoteisosassa. Saukonmäen maantieteellistä aluetta ja Saukonmäen pohjavesialuetta ei siis tule sekoittaa keskenään. Myllylaki kuuluu Pellon arvokkaita harjualueita koskevan raportin (s.a.) mukaan Orajärvenkankaan muodostumakokonaisuuteen. Saukonmäestä ja Saukonmäenpohjavesialueesta Myllylaen ja Myllylaen pohjavesialueen erottaa Orankijoen uoma. Pellon tutkimusalue sijaitsee pääosin subakvaattisella alueella, ainoastaan korkeuden +190 mpy. ylittävät mäkien ja tuntureiden huiput nousevat korkeimman rannan yläpuolelle (kuva 17).

Pohjavesitietokanta antaa alueesta kohtalaisen hyvän yleiskatsauksen, vaikkakaan muodostumahistoriasta ja tarkemmista muodostumarakenteista ei ole saatavilla tietoa. Pohjavesitietokannan mukaan kyseessä on laaja harjudeltoa, jonka länsireunaa, eli

proksimaalireunaa, peittää hiekkamoreenikerros. Tämän proksimaaliosan materiaali on kivistä soraa, joka vaihettuu hiekkaiseksi soraksi ja lopulta soraiseksi hiekkaksi edettäessä kohti distaalireunaa, eli muodostuman kaakkoisosaa. Muodostuman keski- ja itäosissa maa-aines on hiekkaa, kun taas muodostuman koillis- ja lounaisreunat ovat kerrostuneet moreenin päälle. Kerrospaksuudet ovat paksuimmillaan proksimaaliosassa kymmenen metrin paikkeilla. Pohjaveden virtaus on etelästä pohjoiseen. Pohjavesitietokanta (5.3.2019)

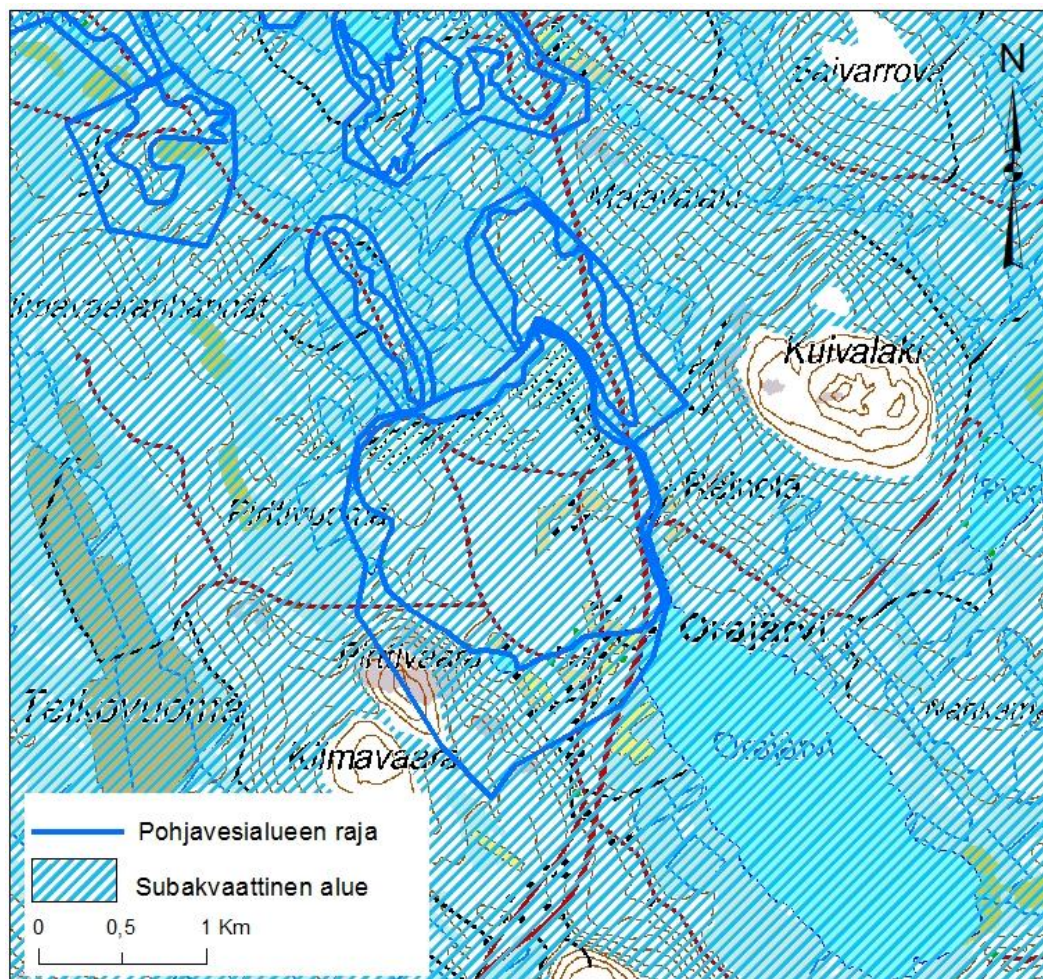


Kuva 16. Pellon kokonaisuus, eli Myllylaen ja Saukonmäen pohjavesialueet. Kuvassa myös alueella suoritettut tutkimukset, eli maaperäkairauspisteet ja maatutkaluotauslinjat. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

Pellon arvokkaiden harjualueiden raportin (s.a.) mukaan muodostuma viettää loivasti kaakkoon ja sen luoteisrinnettä kuvataan jyrkähköksi. Raportin mukaan huomattavaa on myös, että luoteisreunalta on havaittu lähteikkökasvillisuutta, mikä viittaa pohjaveden purkautuvan ainakin tähän suuntaan. Luoteisosassa Saukonmäen alueella on puolestaan laajoja maa-ainesten ottoalueita. Myllylaen pohjoisosa on noin 20 metriä korkea kumpuileva selänne, kun taas kaakkoisosa on tätä huomattavasti tasaisempi selänne (Pellon arvokkaiden harjualueiden raportti s.a.). Myllylaen lounaisrinteestä puolestaan tavataan rantavalleja ja joen kulutusmuotoja. Myllylaen länsirinteen juurelta, Saukonmäen reunalta, tavattiin lähde.

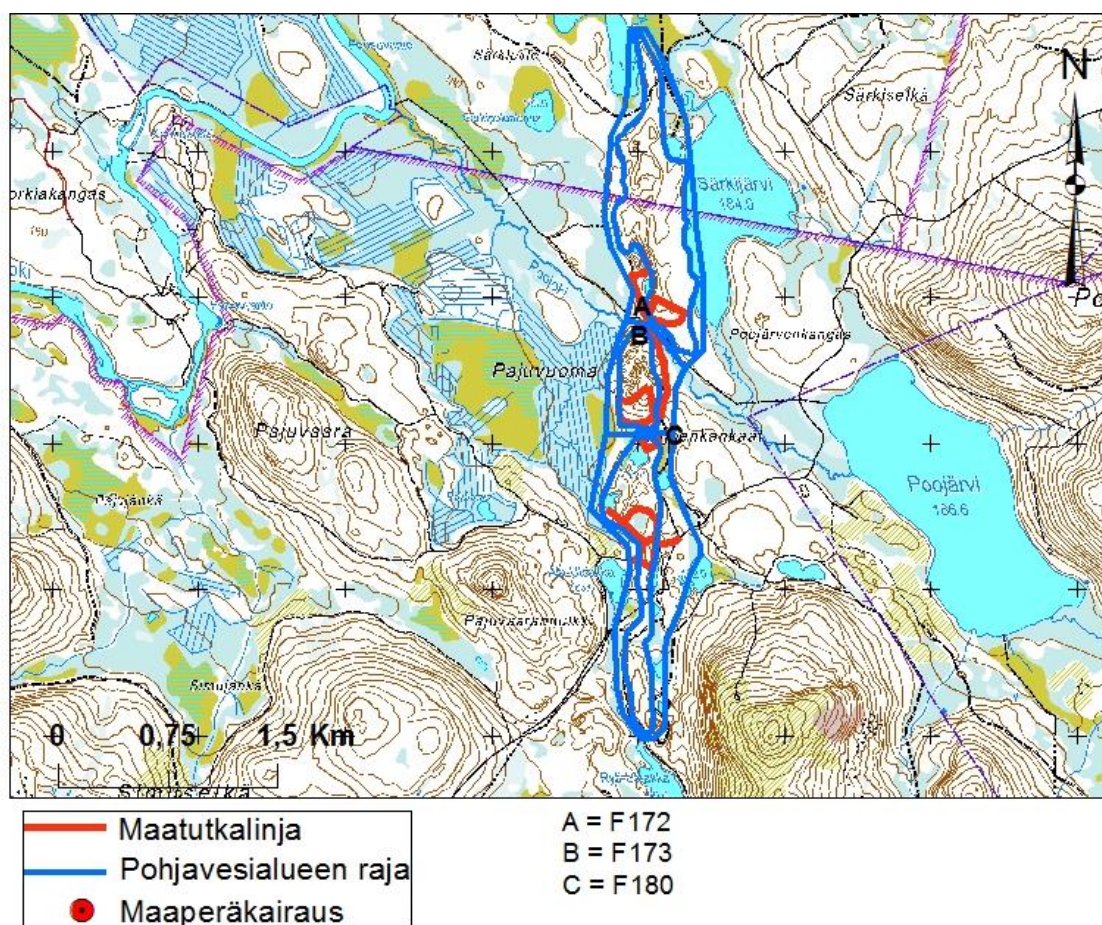
Kalliokynnysten läsnäoloa alueella ei ole tutkittu, eikä toisaalta myöskään jokiuomien kohdin havaittujen hienoinesten tarkempia vertikaali- ja horisontaaliulottuvuuksia. Alueen pohjavesitutkimukset rajoittuvat lähinnä maastotarkasteluihin ja muodostuman keskiosien maaperäkairauksiin, jolloin saatavilla ei ole kovinkaan kokonaisvaltaisia aineistoja, joiden perusteella alueen geomorfologisista rakenteista ja hydrogeologisista olosuhteista olisi mahdollista luoda luotettava kokonaiskuva. Pohjavesitietokannan mukaan alueella on 15 pohjavesiputkea, kolme kaivoa ja yksi lähde (5.3.2019). Alueella on myös suoritettu tutkimuksia POSKI2 –hankkeen yhteydessä, näihin tutkimuksiin ei kuitenkaan kuulunut maatutkaluotauksia, vaan ainoastaan maaperäkairauksia. Myllylaen pohjavesialueen alueella on suoritettu maastotarkastelu kesällä 2017 sekä Saukonmäen pohjavesialueen alueiden maastotarkastelu kesällä 2017.

Referenssiaineistoina käytettyjä maaperäkairauksia alueella on suoritettu vuoden 1986 pohjavesitutkimuksissa (Pohjavesitutkimus 1986) ja vuoden 1979 pohjavesitutkimuksissa (Pohjavesitutkimus 1979).



Kuva 17. Pellon kokonaisuuden tutkimusalueen subakvaattiset alueet. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

4.4 Rovaniemen kokonaisuus



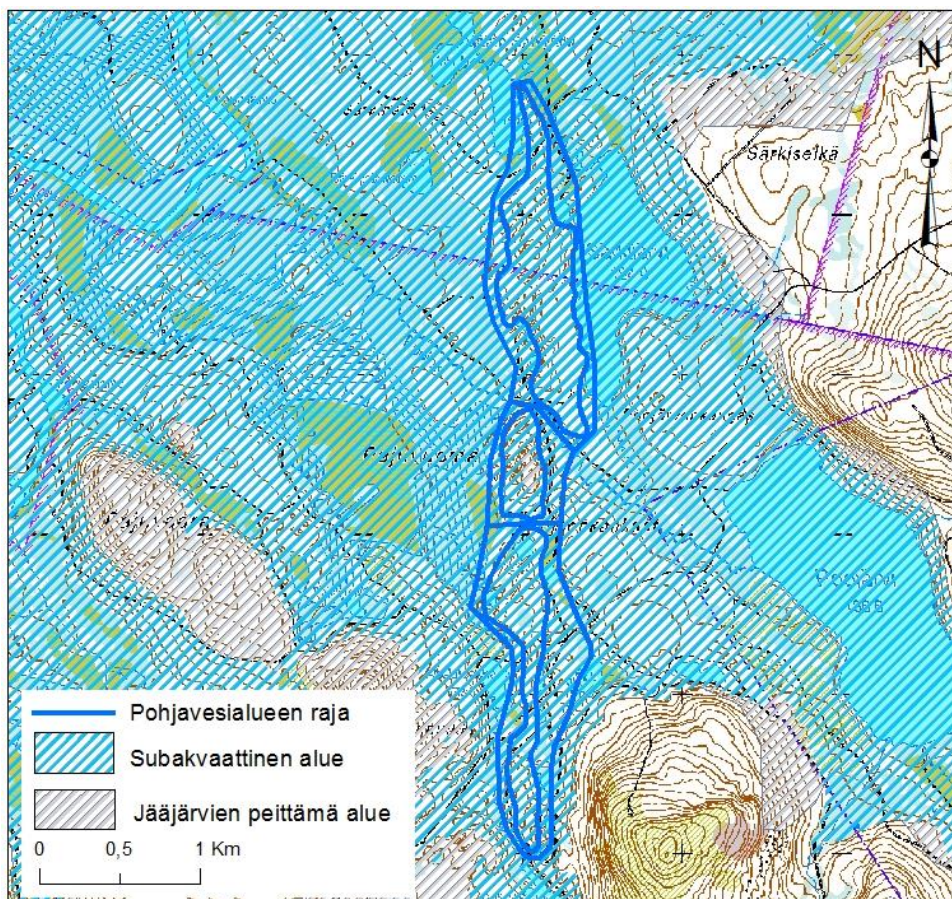
Kuva 18. Rovaniemen kokonaisuuden kolmen pohjavesialueen muodostama tutkimusalue. Kuvassa on pohjavesialueiden rajojen lisäksi alueella suoritettut tutkimukset. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015. Maatutkaluotauslinjat lähteestä: GTK (2017c).

Hete-Utsakan, Poojoen ja Särkijärven pohjavesialueiden muodostama Rovaniemen kokonaisuus sijaitsee aivan Rovaniemen koilliskulmassa siten, että tutkimusalueen pohjoisin osa sijoittuu jo Sodankylän kunnan alueelle (kuva 18). Rovaniemen tutkimusalueen pohjavesialueet sijaitsevat pohjois-eteläsuuntaisessa harjumuodostumassa. Rovaniemen tutkimusalue sijoittuu subakvaattiselle alueelle, jolla myös Pohjois-Suomen jääjärvet ovat velloneet (kuva 19).

Tutkimusalueen eteläisin pohjavesialue on ollut ennen vuoden 2018 pohjavesialueiden uudelleenrajausta Hete-Utsakan pohjavesialue, keskimääräinen osuus Poojoen pohjavesialue ja pohjoisin osuus Särkijärven pohjavesialue. Poojoen ja Särkijärven pohjavesialueita erottaa toisistaan Poojoen uoma. Nämä kolme pohjavesialuetta yhdistettiin yhdeksi Hete-Utsakan pohjavesialueeksi vuoden 2018 pohjavesialueiden rajaustarkastuksissa (Lapin ELY-keskus 2018).

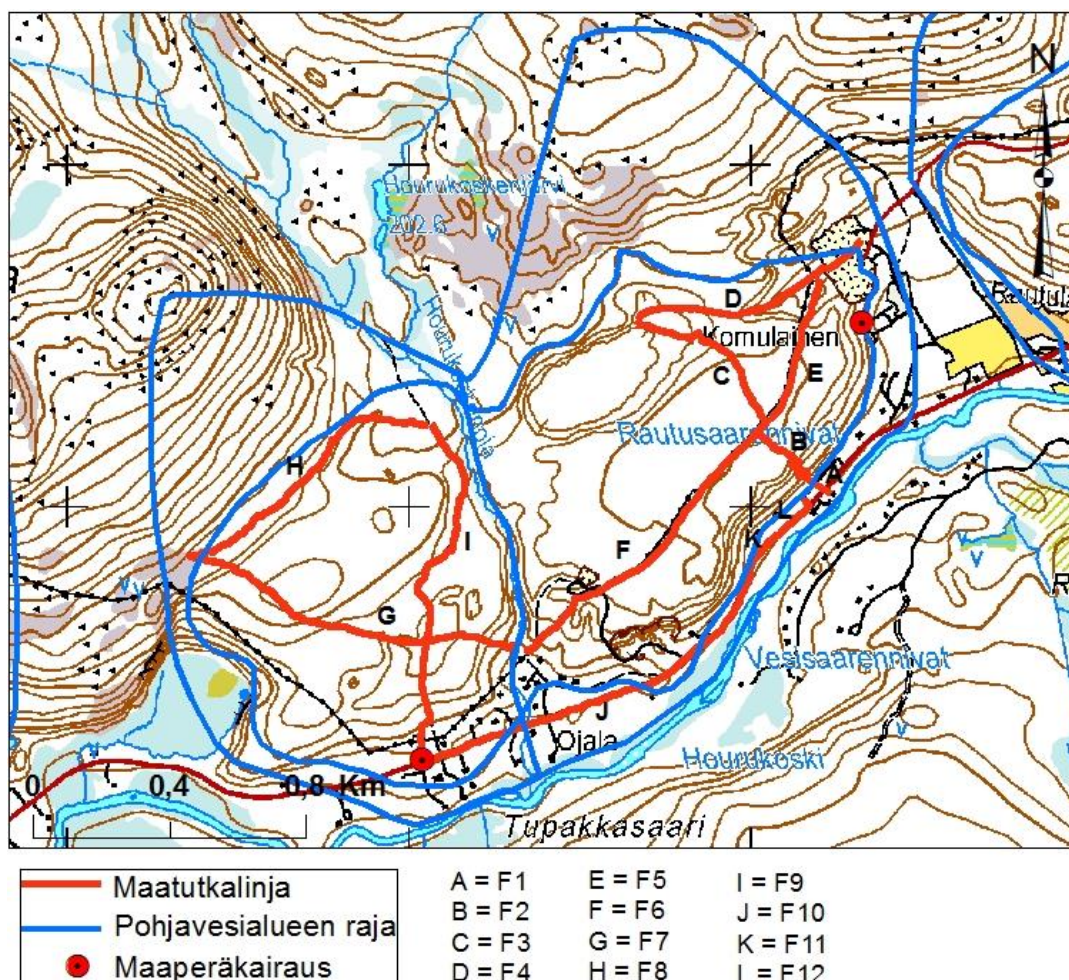
Hete-Utsakan pohjavesialueiden muodostama kokonaisuus valikoitui tutkimukseen jo vuoden 2017 syksyllä, jolloin rajauseruutosta ei ollut vielä suoritettu. Pohjavesialueiden uudelleenrajauksesta seuranneista pohjavesialueiden yhdistämisistä huolimatta alue pidettiin myös tässä tutkielmassa mukana, sillä tämän tutkielman tuoma uusi tutkimustieto voi joko vahvistaa taikka kumota edeltävien tutkimusten arviointeja ja havaintoja. Uusi tutkimustieto voi johtaa joko Hete-Utsakan alueen uuden rajauksen perusteiden vahvistumiseen, taikka vastakkaisessa tapauksessa, uusi hydrogeologinen tieto voi jopa johtaa uusiin tarkentaviin rajauksiin. Tutkielman kokonaisuuden kannalta tutkimusalue myös edustaa omalta osaltaan jokiuomien halkomaa ja rajaamaa pohjavesialuetta, lisäen kokonaisuuden kannalta tietoutta tällaisten alueiden olosuhteista.

Hete-Utsakan pohjavesialueella suoritettiin maatuotkaluotauksia GTK:n toimesta valtakunnallisten pohjavesialueiden uudelleenrajauksen ja pohjavesialueiden tarkastusten johdosta GTK (2017c). Kairauksia sen sijaan alueella ei ole suoritettu. Tällöin jokiuomien vaikutusta tarkastellaan tällä alueella lähinnä suoritettujen maatuotkaluotauksen perusteella. Alueelle työstettiin vuoden 2017 aikana 17 maatuotkaluotauslinjaa (kuva 18), joista mielenkiinto kohdistuu jokiuomat ylittäviin linjoihin F172, F173 ja F180 (liitteet 64, 65 & 66).



Kuva 19. Rovaniemen kokonaisuuden subakvaattiset ja jääjärvien peittämät alueet. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

4.5 Kolarin kokonaisuus



Kuva 20. Kolarin kokonaisuuden, eli Hourukoskenojan A ja B pohjavesialueiden muodostama tutkimusalue. Kuvassa myös alueella suoritettut tutkimukset, eli maaperäkairauspisteet ja maatutkalinjat. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

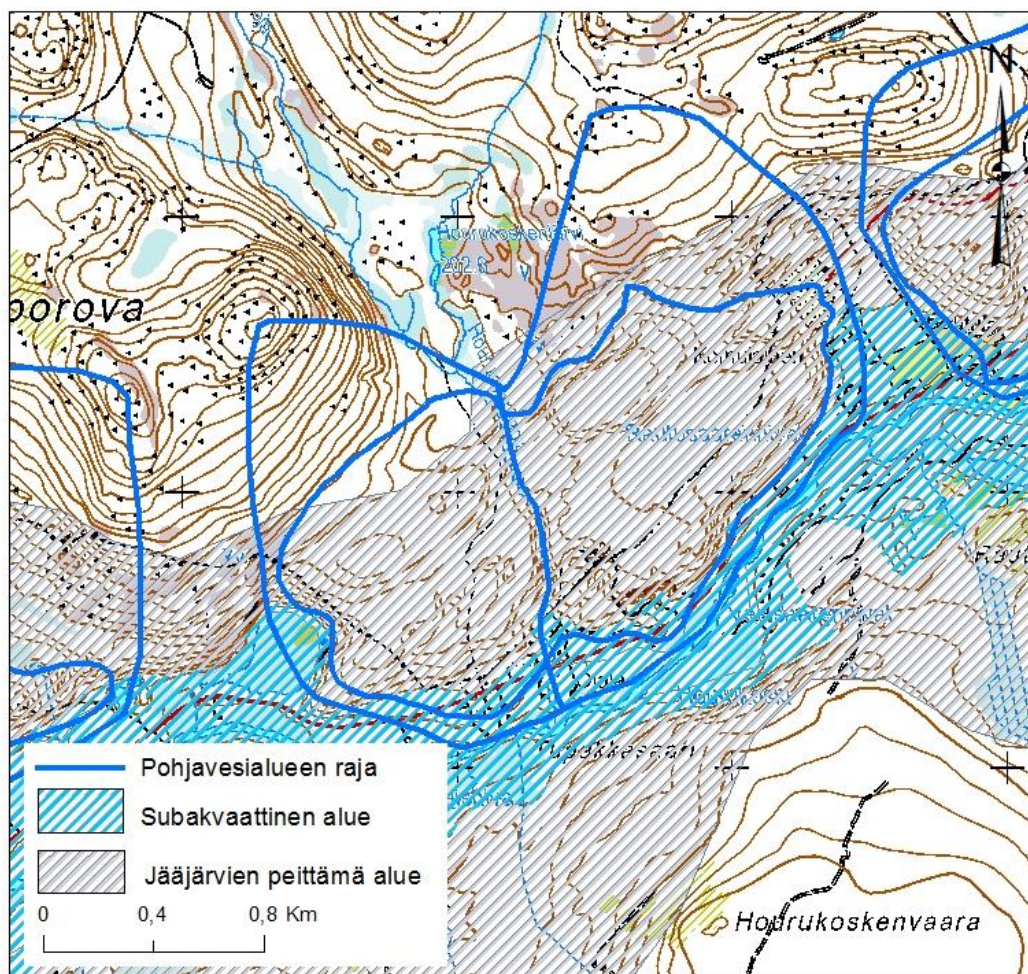
Kolarin kunnan alueella sijaitsevat Hourukoskenojan A ja B pohjavesialueet kuuluvat harjujaksoon, joka tutkimusalueen kohdin sisältää lähinnä sorahiekkaa ja hiekkaa (POVET 15.2.2019). Hourukoskenoja A pohjavesialue on näistä kahdesta pohjavesialueesta koillisen puoleinen ja Hourukoskenoja B pohjavesialue lounaisen puoleinen pohjavesialue.

Tutkimusalueen muodostava geomorfologinen muodostuma sijaitsee harjujakson päässä supra-akvaattisen ja subakvaattisen alueen vaihtumisvyöhykkeellä (kuva 21). Muodostuma omaa deltan piirteitä, mutta tarkkaa määrittystä muodostumasta ja sen rakenteista ei voi antaa ennen muodostuman rakennetulkintaa. Alueen tarkastelu aloitetaan maatutkaloituksiin pohjautuvalla geomorfologisella rakennetulkinnalla.

Kairausten perusteella pohjaveden pinta viettää Hourukoskenoja A pohjavesialueelta (+170,18) lounaaseen, eli Hourukoskenoja B pohjavesialueen (+166,78) suuntaan.

Hourukoskenoja B pohjavesialueen lounaisosassa on myös lähde, mikä tukee hypoteesia pohjaveden liikkeestä kyseiseen suuntaan.

Tutkimusalueen pohjavesialueita erottaa toisistaan Hourukoskenoja, joka on asettunut deltan halki kulkevaan sulamisvesiuomaan. Tämän uoman tiiviiden maa-ainesten syvyyssulottuvuus on epäselvä. Alueen varjostettua korkeusmallia tarkastelemalla havaitaan, että Hourukoskenojan uoma liittyy laajempaan deglasiaation aikaiseen uomastoon, joka ulottuu luoteesta Mustijärveltä koillisen, idän ja kaakon ilmansuunnille. Hourukoskenoja vaikuttaisi olevan Mustijärveltä kaakkoon virranneiden sulamisvesien uoma, johon sittemmin Hourukoskenoja on asettunut. Varmuus tähän hypoteesiin saadaan vasta maatutkaluotausten tulkinnan kautta.



Kuva 21. Kolarin kokonaisuuden subakvaattiset ja jääjärvien peittämät alueet. Pohjakartta: Maanmittauslaitos, maastokartta 2015.

Hourukoskenojan pohjavesialueilla työstettiin GTK:n toimesta POSKI2-hankkeen yhteydessä maatutkaluotauksia 7,7:män kilometrin verran sekä kaksi maaperäkairaus (GTK 2017b) (Kuva 20). Toinen kairauksista, HP 3919 sijaitsee Hourukoskenoja B pohjavesialueella maatutkalinjojen F10 ja F9 risteyksessä (kuva 20). Tällöin kyseinen kairauspiste toiminee mainiona referenssiaineistona molemmille linjoille. Kairauspiste HP 4016 puolestaan sijaitsee

Hourukoskenojan B pohjavesialueen koilliskulmassa. Tämä kairauspiste on omiaan kuvaamaan maaperän kerroksia deltan juurella.

Hourukoskenojan pohjavesialueet sijaitsevat supra-akvaattisen ja subakvaattisen alueen rajalla (kuva 21). Subakvaattinen alue sivuaa pohjavesialueita näiden eteläpuolelta kulkien Äkäsjoen suuntaisesti sen muodostamaa pitkää subakvaattista lahtea myöten koilliseen. Huomattavaa on myös aluetta osittain peittänyt jääjärvi, jonka korkein ranta on suurin piirtein tasolla +200 mpy.

5. Tulokset

5.1 Posion kokonaisuus

5.1.1 Posion rakennetulkinta

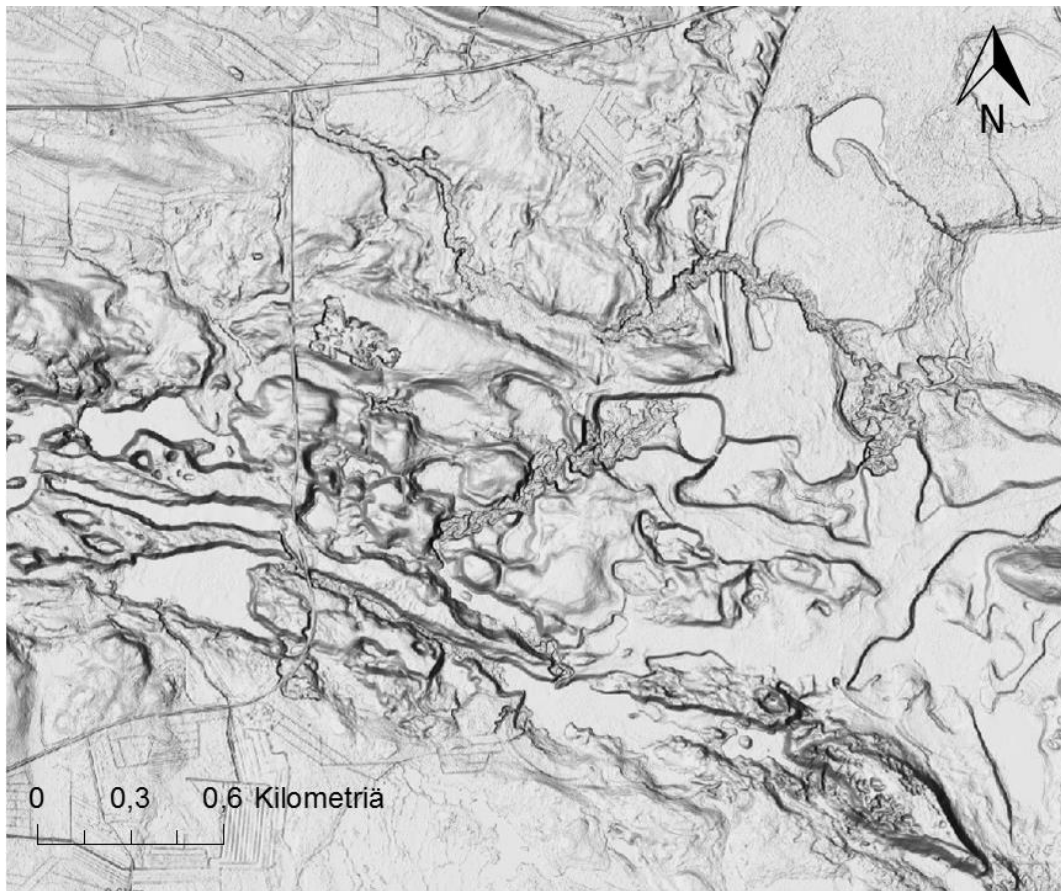
Vaikka maaperän kerrospaksuudet olivat Posion alueella paikoin suuria, niin tutkan syvyysulottuvuus riitti tavoittamaan joko kallioperän, sitä peittävän kumpuilevan moreenipeitteen, taikka vähintään pohjaveden pinnan. Syvyysulottuvuuksiltaan alueen maatutkaluotausprofiileilla liikuttiin tavanomaisesti selväpiirteisesti ylimmän 20 metrin kohdin, jonka jälkeen profiilit heikkenivät usein joko kalliopinnan tai moreenipatjan tavoittamisen seurauksena.

Kappaleen 4.2 mukaisesti Posion tutkimusalueen päällimmäiset maakerrokset ovat syntyneet Korouomaan johtaneen Sallan jääjärven purkautumisen johdosta, sekä jo tätä ennen Korouomaa pitkin virranneiden paineellisten sulamisvesien kerrostaessa alueen suuren harjujakson. Maatutkaluotausten myötä tämän harjujakson kulkua tutkimusalueella avattiin lisää, sekä alueelta löydettiin moninaisia geomorfologisia muodostumia, joista useimmat ovat tosin peittyneet purkaussora- ja hiekkamuodostumien alle. Kalliokynnysten sekä moreenikerrosten ja -kumpujen hahmottaminen ilmeni pohjavesialueiden rajausten kannalta oleelliseksi ominaispiirteeksi.

Avoimet glasifluviaaliset jokiuomat puolestaan halkovat aluetta sen pinnalta, mutta niiden syvyysulottuvuudet ja etenkin hienoaineskerrokset paljastuivat ohuiksi. Alueelta tavattiin myös hyvin laajoja peittyneitä jokiuomia, mutta näiden osaltakaan ei tavattu kattavia hienoaineskerrostumia.

Posion tutkimusalue voidaan jakaa geomorfologisesti kolmeen osaan, joilla kullakin on omat luonteenpiirteensä ja hallitsevat geologiset ja geomorfologiset muotonsa. Luoteis- ja pohjoisosia luonnehtivat kalliokynnys sekä paksut lähelle maaperän pintaa ulottuvat

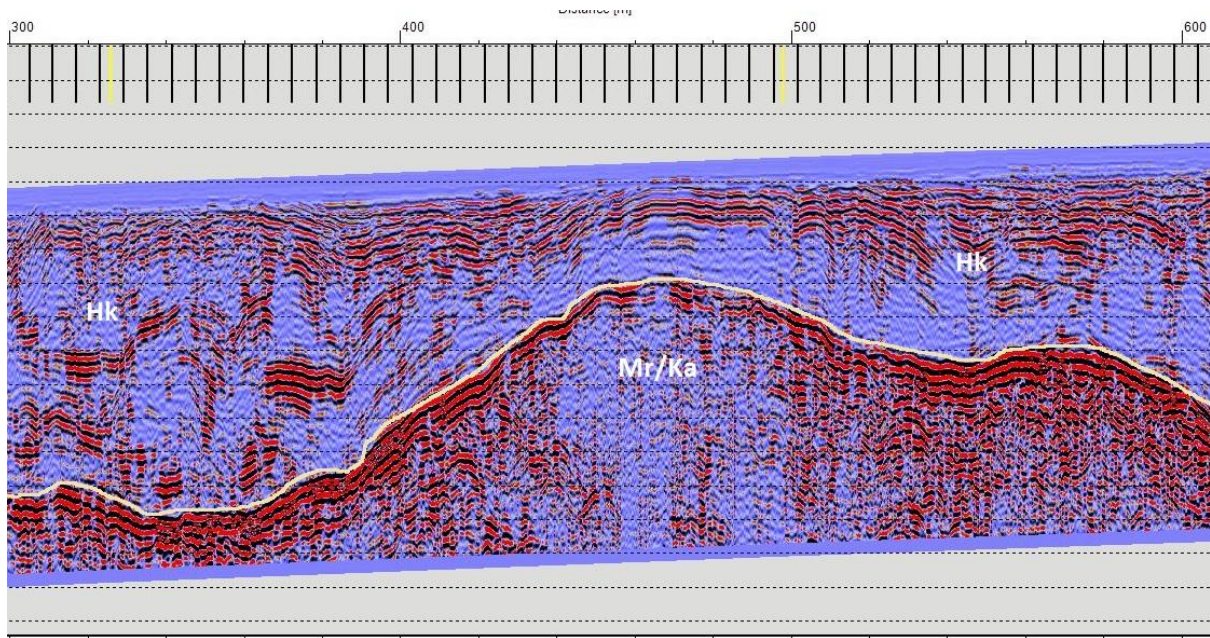
moreenikerrokset. Kalliokynnys johtaa Ojennusvaaralta Kontti-Kotajärven ja Ison-Ahvenlammen välistä koilliseen Palokankaalle. Tämän linjan pohjoispuolella kalliokynnys ja sitä peittävät moreenikerrokset ovat geologisesti hallitsevia piirteitä. Tähän alueeseen kuuluvat Ryttinginkangas, Palokangas sekä Isokankaan ja Peräkankaan pohjoiset osat. Tutkimusalueen etelä- ja kaakkoisosia luonnehtii puolestaan harjujakso, sen paksuine hiekka- ja sorakerroksineen. Tähän alueeseen voidaan lukea Saarilamminkangas, Jalankankaat, Kurpunkangas ja Maaselänharju. Suuret täyttyneet sulamisvesiuomat hallitsevat puolestaan tutkimusalueen itäisiä ja koillisia osia. Tähän alueeseen kuuluvat lähinnä Peräkangas ja Korppiniemi.



Kuva 22. Varjostettu korkeusmalli Posion tutkimusalueelta. Kuva antaa osviittaa muodostumakokonaisuuden vaihtelevasta geomorfologisesta luonteesta. Kuvasta huomio kiinnittyy lukuisiin suppiin, sulamisvesiuomiin, selännteisiin ja kuvan länsireunasta kaakkoiskulmaan kaareutuvaan harjuun. Kuva mukailien lähteestä: Maankamara, GTK. 5.3.2019.

Posion kokonaisuuden kallioperä sitä peittävin vaihtelevin moreenipeittein ja drumliinein luo monimuotoisen kumpuilevan pohjan alueen peitteille ja geomorfologisille muodostumille. Nämä kalliokynnykset, tai usein moreenipeitteiset kummut, nousevat etenkin tutkimusalueen pohjoisosissa paikoin aivan maanpinnan tuntumaan (kuva 23). Nämä pohjavettä läpäisemättömät muodot voisivat pilkkoa pohjavesimuodostumia hydrogeologisen yhteyden katkeamisen seurauksena eri osiin, ellei pohjaveden pinta olisi juuri näillä pohjoisilla osilla tyypillisesti hyvin lähellä maanpintaa. Tällöin kallio- ja moreenikummut eivät katkaise

pohjaveden pintaa kuin ainoastaan paikallisten korkeimpien moreeni- ja kalliokumpujen kohdin. Paikoitellen vettä johtavaa maa-ainesta on kumpujen päällä vain muutamia metrejä. Tällaisia lähes pintaan asti nousevia moreeni- tai kalliokumpuja tavattiin luotausprofiileista esimerkiksi Rytinginkankaalta (liitteet 42-45), Isokankaalta (liitteet 18, 19, 25), Kurpunkankaalta (liitteet 50-52), Peräkankaalta (liitteet 34-41), Palokankaalta (liitteet 30-35) ja Korppiniemeltä (liitteet 46-49).



Kuva 23. Posion kokonaisuuden Peräkankaan maatumkaluotauslinjan 3 väli 300-600m. Profiilista erottuu selkeästi tutkimusalueelle tyypillinen kumpuileva moreenipeitteinen kalliopinta. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Pohjaveden pinnan yläpuolelle moreeni- tai kalliopinta nousee maatumkaluotausprofiilien perusteella paikoitellen eri puolilla tutkimusaluetta, mutta yleisimmin pohjaveden pinnan katkeamisia tavoitetaan pohjoisosien linjoilta. Sellaisenaan yksittäinen havainto moreeni- tai kalliopinnan nousemisesta pohjaveden pinnan yläpuolelle ei kuitenkaan tarkoita jakoperustetta pohjavesialueille. Pohjaveden yläpuolelle nousevan kalliokynnyksen tai moreenikummun on oltava riittävän laaja ja yhtenäinen eristämään sitä ympäröivät vesimassat kokonaan toisistaan. Kuten kappaleessa 2.2.2 todettiin, vasta pohjavesimuodostumien hydrologisen yhteyden katkeaminen johtaa pohjavesimuodostumien rajaamiseen. Maatumkalinjojen profiilien tulkinnan kautta pystyttiin hahmottelemaan Posion tutkimusalueen keskeisimmät kallioperästä kohoavat kummut moreenipeitteineen, sekä alueella ilmenevät drumliinit.

Tutkimusalueen keskeisin kalliokynnys moreenipeitteineen alkaa tutkimusalueen länsipuolella sijaitsevalta Ojennusvaaralta, jatkuen Kontti-Kotajärven pohjoispuolelta ja Ison Ahvenjärven eteläpuolelta kohti Rytinginkangasta. Rytinginkankaan itäpuolelta kynnys tavataan jälleen Isokankaan linjan 7 pohjoispäädystä (liitteet 18 & 19), josta kynnys jatkuu

karkeasti Palokangasta kohden, josta tämä kynnyks tavataan linjoilta Peräkangas 1 (liitteet 30 & 31), Peräkangas 2 (liitteet 31 & 33) ja Peräkangas 5 (liitteet 38 & 39). Kalliokynnys kulkee karkeasti Ison Ahvenlammen eteläpuolelta kohti Palokangasta, halliten myös tämän linjan pohjoispuolisia alueita. Tämän moreeni- ja kalliokohouman alueella kallioperän ja moreenipeitteen muodostama kumpu nousee vain muutamien metrien päähän maanpinnasta, mutta pohjaveden pinnan yli kynnyks nousi vain Ison Ahvenlammen eteläpuolella ja Rytinginkankaan kohdalla.

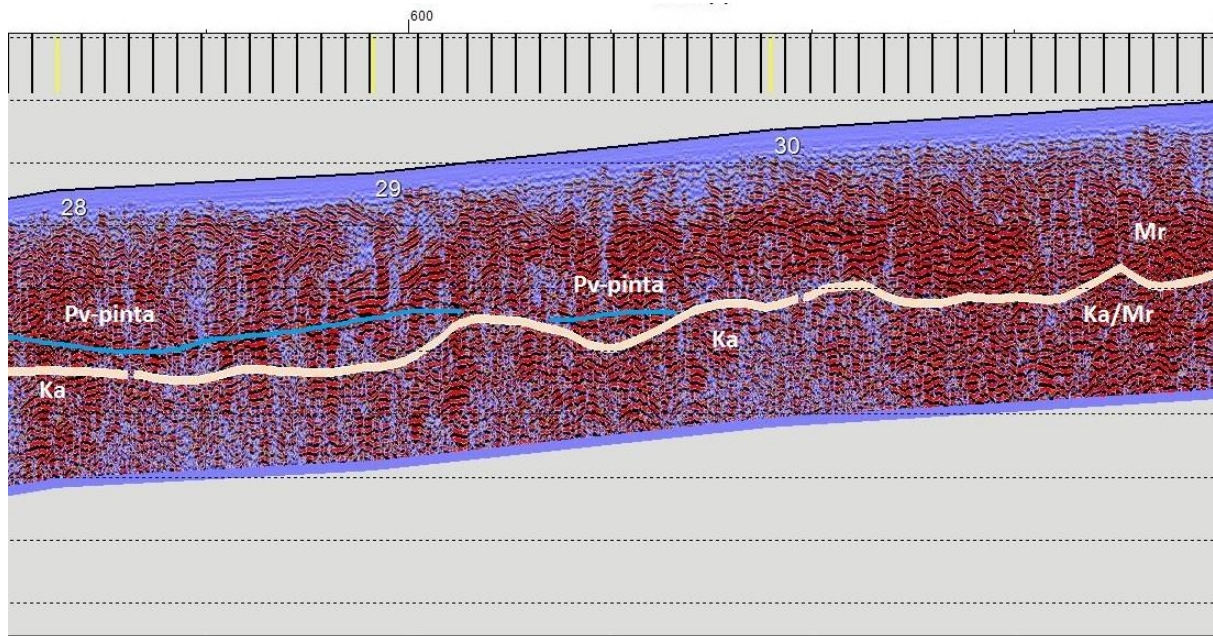
Kalliokynnys häviää pohjois-etelä –suuntaisesti tarkasteltuna maatutkaluotausprofiileilta Isokankaan ja Peräkankaan keskiosien kohdalla. Kalliokynnys vaikuttaa pääosin laskevan tutkimusalueen keskiosien kohdalle pohjoisesta edettäessä. Tutkimusalueen eteläisiä alueita hallitsevat harjujakson paksut lajitteet, vaikkakin paikoitellen kallio- ja moreenikumpuja tavataan myös Jalankankaalta ja Kurpunkankaalta.

Tämän kalliokynnyksen ja vettä heikosti johtavan moreenikerroksen olemassaolosta kielii silmiinpistävästi jo Ison Ahvenlammen pinnan (+263,9 mpy) ja tämän alapuolisen Saarijärven pinnan (+247,7 mpy) merkittävä ero. Merkittävä pohjaveden pinnankorkeuksien muutos näkyy myös maatutkaluotausprofiileissa sekä kairauksissa. Rytinginkankaan pohjavesienpinnankorkeudet liikkuvat yleisesti kairausten ja maatutkaluotausten perusteella hyvin lähellä Saarijärven tasoa (n. +247 mpy), joka vahvistaa kyseisen pinnantason olevan tälle Saarijärven ympäristölle ominainen pohjavesipinnan taso. Tämän sijaan Ison Ahvenlammen pinnankorkeus on peräti 16,2 metriä Saarijärven pinnantasa korkeammalla. Vastaava ero havaitaan myös esimerkiksi linjan Rytinginkangas 18 profiililta (liitteet 44 & 45).

Linjan Rytinginkangas 18 alkupäässä profiililta havaitaan selvärajaisia voimakkaan heijasteen synnyttäviä rakenteita, jotka ovat joko kalliota taikka moreenikumpuja (liite 44). Pohjaveden pinta on linjan alkupisteessä tasolla +248 mpy, eli selvästi näiden moreenikumppujen yläpuolella. Linjaa luoteeseen edettäessä kallioperä ja sitä peittävä moreenipinta alkaa nousta. Noin 800 metrin päässä linjan alusta pohjaveden pinta törmää nousevaan kallioperä/moreenipintaan, katkaisten pohjaveden hydrologisen yhteyden (Kuva 24). Kyseisen linjan välillä 900-1100 metriä heijaste on hyvin voimakas maaperän pinnasta profiilin pohjaan saakka, eli noin 20 metrin matkalta. Kyseinen heijaste on moreenin ja kallioperän synnyttämää, mutta näiden kahden rajapintaa on profiilin voimakkaista heijasteista vaikea tulkita. Toisaalta tässä yhteydessä kallioperän ja moreenin rajalla ei ole olennaista merkitystä, sillä myös alueen moreenipeite johtaa huonosti vettä, jolloin moreenikin muodostaa esteen pohjavedelle.

Tämän 200m jatkuvan voimakkaan moreenin/kallion synnyttämän heijasteen jälkeen pohjaveden pinta tavoitetaan +260 mpy. yläpuolelta. Eli linjan Rytinginkangas 18 profiilin väli 870-1100 vaikuttaa olevan pohjaveden pinnankorkeuksien muutoksen aiheuttajana. Ottaen huomioon tutkimusalueen olosuhteet ja Rytinginkankaan linjan 18 profiilin havainnot, lienee kyseisen linjan kallio- ja moreenimuoto tämän pohjavesipintojen tasoittumisen estävä tekijä. Tästä kallio/moreeni kynnyksestä nähdään viitteitä myös linjaa Rytinginkangas 18 halkova

koillisesta lounaaseen suuntautuvan Rytinginkangas 17 linjan lounaisosassa. Täällä pohjaveden pinta pysyy kyseisen jakavan muodon yläpuolella, eli pohjavettä jakava muoto sijoittunee pääasiassa tämän Rytinginkangas 17 linjan pohjoispuolelle (kts. linjojen sijainnit kuvasta 13).



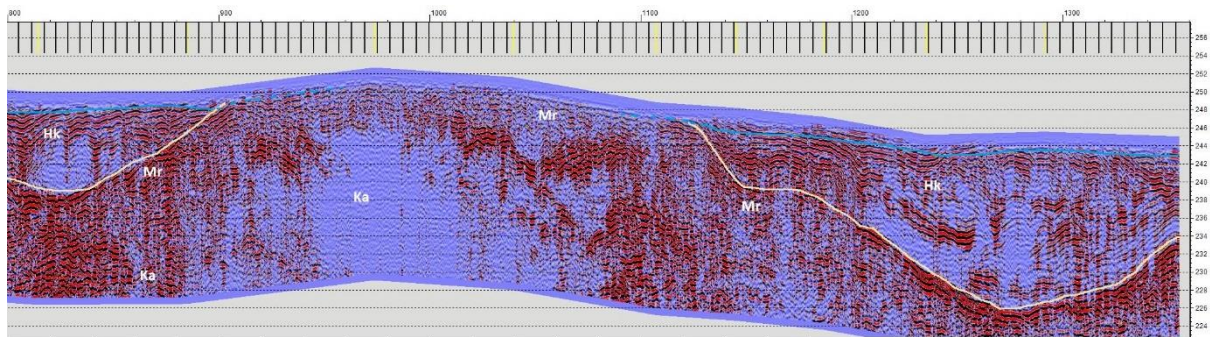
Kuva 24. Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjan Rytinginkangas 18 väli 500-800m. Pohjaveden pinta katkeaa kohoavaan kallio/moreenipintaan, josta näiden kahden rajapinta on varsin vaikeatulkintainen. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Kallioperä moreenipeitteineen nousee pohjavesipinnan yläpuolelle Peräkankaan linjalla 5 (liitteet 38 & 39). Tulkinnan perusteella kyseessä on ainoastaan kumpu, joka ei tällöin vaikuta ympäröivien pohjavesimuodostumien, tai muodostuman, rajaamiseen. Peräkankaan linja 5 edesauttaa kallio- ja moreenipinnan laskun hahmottamista etelään liikuttaessa. Samoin tämä kallio- ja moreenipohjan lasku etelään kuljettaessa ilmenee hyvin linjalta Peräkangas 4 (liitteet 36 & 37). Pohjaveden pinta katkeaa kallio/moreenikummun seurauksena myös linjoilla Isokangas 9 (liitteet 22-24) ja Jalankangas 16 (liitteet 28 & 29), mutta näissä tapauksissa on tulkinnan perusteella Peräkankaan linjan 5 tapainen kallioperä/moreenikummu. Kun profiileilta tulkituilla pohjavesipinnoiltakaan ei havaita muutoksia, eivät todennäköisesti myöskään nämä kallio/moreenikummut katkaise hydrologista yhteyttä.

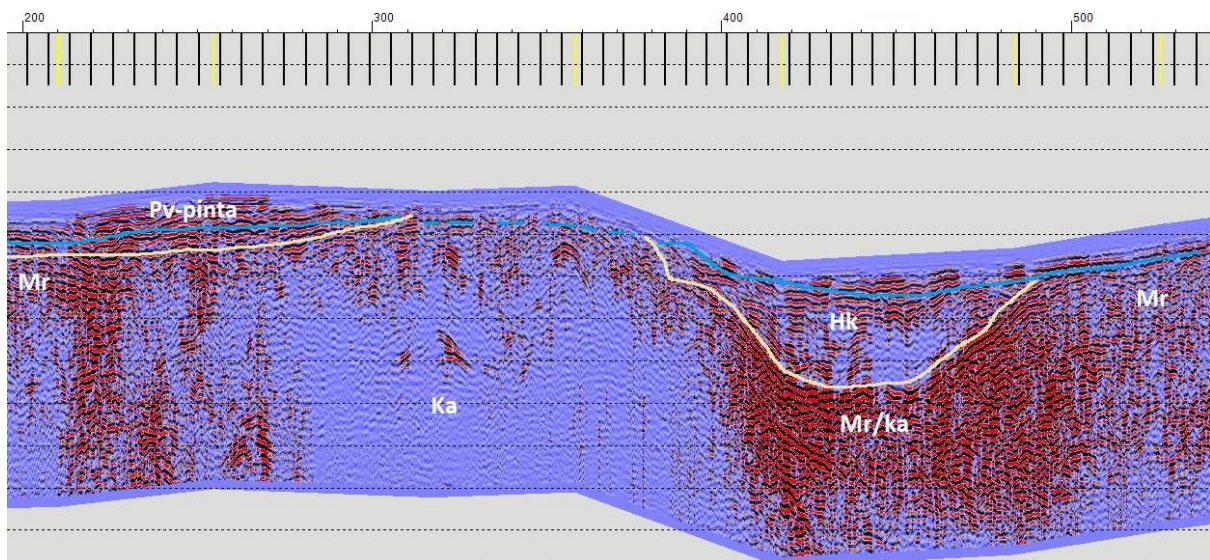
Palokankaan, eli tutkimusalueen aivan koillisosan kohdin, kalliokynnys moreenikerroksineen nousee edellä kuvatun koillis-lounaissuuntaisesti suuntautuneen kynnyksen ominaisuudessa pohjavesipinnan yläpuolelle heti Ranuantien (tie 941) pohjoispuolella. Alueelle sijoittuva Peräkankaan maatumkalinja 1 etenee Ranuantieltä pohjoiseen Palokankaan poikki. Linjalta havaitaan nopeasti nousevan kallioperän moreenipeitteinen pinta (liitteet 30 & 31). Kallioperän kummut nousevat profiilissa hyvin tunnistettavasti esille väleillä 100-200m ja 250-400m. Ensimmäinen kummuista ei katkaise lähes maaperän pinnassa kulkevaa pohjaveden pintaa, mutta jälkimmäisen kalliokynnyksen kohdin näin käy (kuva 26). Pohjaveden pinta

katkeaa siis linjalla Peräkangas 1 välillä 300-400. Välillä 400-500 havaitaan syvä, ilmeisesti hiekalla ja soralla täyttynyt sulamisvesiuoma, jonka jälkeen maaperä muuttuu moreenivaltaiseksi, vaikkakin seassa vaikuttaisi paikoitellen olevan myös hiekkaa ja muita lajitteita (kuva 26). Tällä Peräkankaan linjan 1 osuudella (500-900m) pohjaveden pinta on jatkuvasti hieman katkonaisena hyvin lähellä maanpintaa. Linja kuvastaa hyvin, kuinka kalliokynnys moreenipeitteineen nousee yhä lähemmäs maanpintaa ja valtaa tilaa lajittuneilta hiekka- ja soravaltaisilta aineksilta Ranuantieltä pohjoiseen liikuttaessa.

Palokankaalta havaitaan myös tutkimusalueen pohjoisosille tyypillinen drumliini Taivalkoskentien (tie 863) ja Ranuantien luoteiskulmassa. Drumliini erottuu profiilista hyvin poikkileikkauksena (kuva 25). Kallioidin on helposti tunnistettavissa, moreenikerrokset ovat kerrostuneet lähinnä kallioytimen itäiselle sivulle. Drumliinin kohdin pohjaveden pinta katkeaa.



Kuva 25. Posion maatulkuutusprofiili Peräkangas 2, 800-1400m. Profiilista erottuu hyvin drumliinin poikkileikkaus, josta kallioidin on hyvin erotettavissa. Pohjaveden pinta on aivan maanpinnan lähetyvillä. Profiilin tulkinnan perusteella drumliini katkaisee pohjaveden pinnan. Maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

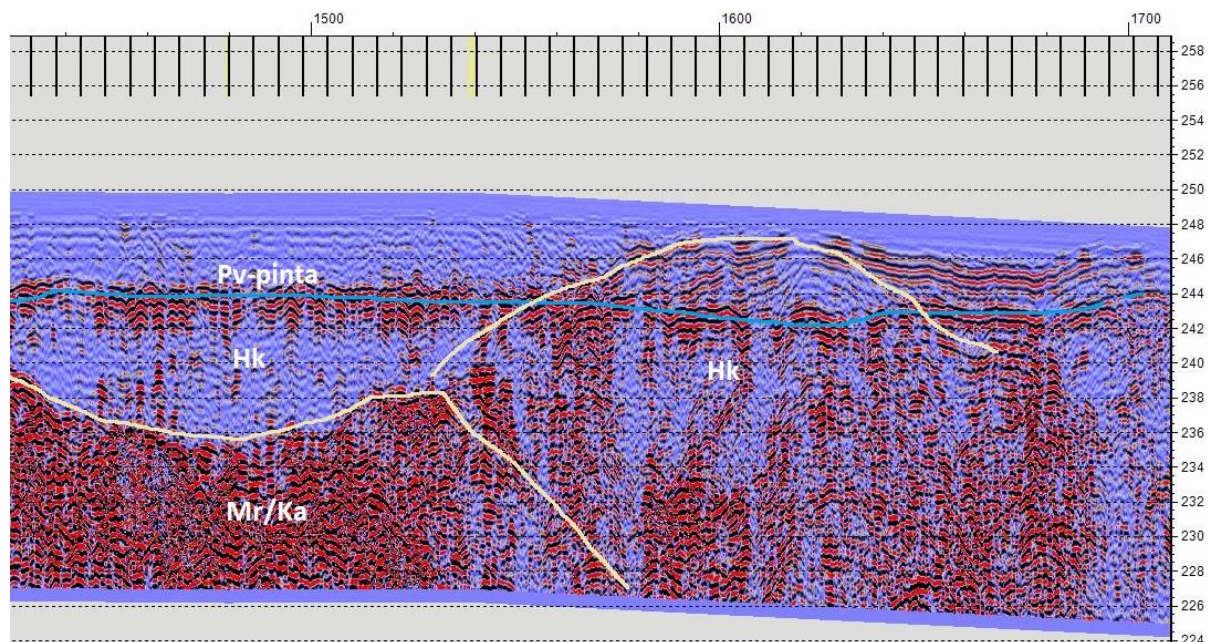


Kuva 26. Posion maatulkuutusprofiili Peräkangas 1. Huomaa lähelle pintaa ulottuva kalliopinta, joka mahdollisesti katkaisee pohjaveden pinnan. Maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

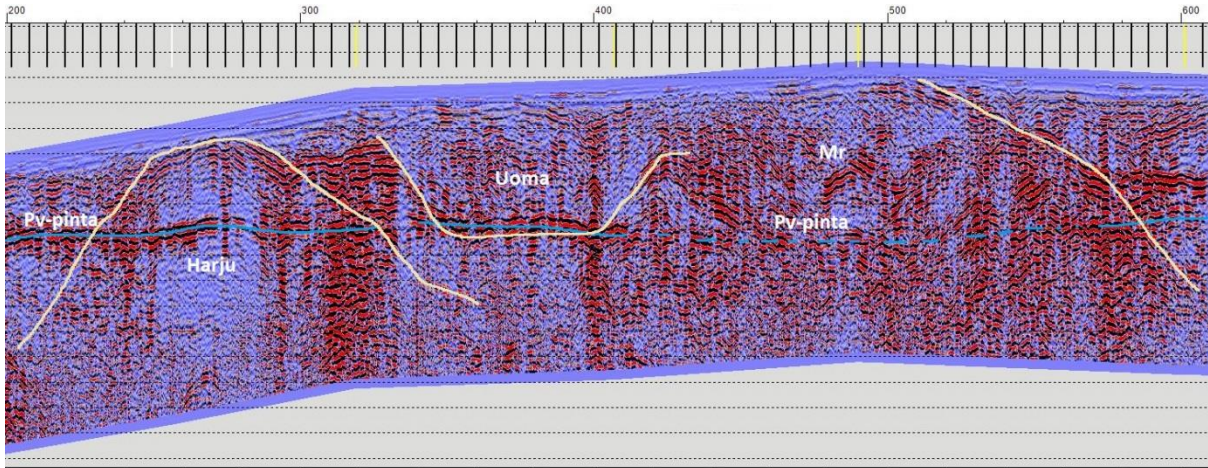
Tutkimusalueen lounaisosista Ison Ahvenjärven eteläpuolelta koilliseen Palokankaalle kulkeva kalliokynnys jakaa tutkimusalueen kalliokynnyksen ja sen moreenikumpujen hallitsemiin pohjoisiin osiin eteläisistä harjun ja paksujen sora- ja hiekkakerrostumien hallitsemista alueista. Vaihtuminen tapahtuu Isokankaan ja Peräkankaan keskisillä alueilla kallio- ja moreenipinnan noustessa ja vastaavasti maanpeitteiden ohentuessa. Kallio- ja moreenikummut nousevat paikoitellen pohjaveden pinnan yläpuolelle, tavanomaisesti katkaisematta kuitenkaan pohjavesien hydrologista yhteyttä.

Kallioperän ja moreenikumpujen hallitseman pohjoisosan rinnalla tutkimusalueen ehkäpä keskeisimmän geomorfologisen osan, taikka kokonaisuuden, muodostaa tutkimusalueen eteläosien läpi kulkeva harjujakson osa, taipuen kaakkoon maaselänharjun suuntaisesti. Harjun kulkureitti tutkimusalueen läpi kulkee pitkin ketjua Saarilamminkangas, Jalankangas, Kurpungangas ja Maaselänharju. Tämä harju on kuitenkin peittynyt suurimmilta osin selänteiden, deltojen ja purkaushiekka ja -sora muodostumien alle. Harju ei siis erotu esimerkiksi varjostetusta korkeusmallista selvästi, kuten harjuille on tavanomaisesti tapana.

Harjun kulku voidaan karkeasti määrittää karttatulkinnan ja profiilien tulkinnan avulla. Harju tavataan useilta sen poikki kulkevilta maatutkaluotauslinjoilta, kuten linjoilta Jalankangas 13 ja Kurpungangas 13 (liitteet 26, 27 & 50-52). Kurpungankaan linjalta 13 harjun rakenteita havaitaan linjan loppupäästä (kuva 27), kun linjalta Jalankangas 13 harju tavataan linjan keskiosasta (kuva 28). Kyseisen kuvan (kuva 28) kohdin harju on kerrostunut kalliokynnyksen kupeeseen ja harjun vierestä tavataan täyttynyt sulamisvesiuoma, jonka pohja laskee pohjaveden pinnan tasolla. Lisäksi aivan uoman vierestä havaitaan moreenikumpu, joka näkyy hyvin myös esimerkiksi varjostetusta korkeusmallista linjan eteläpuolella.

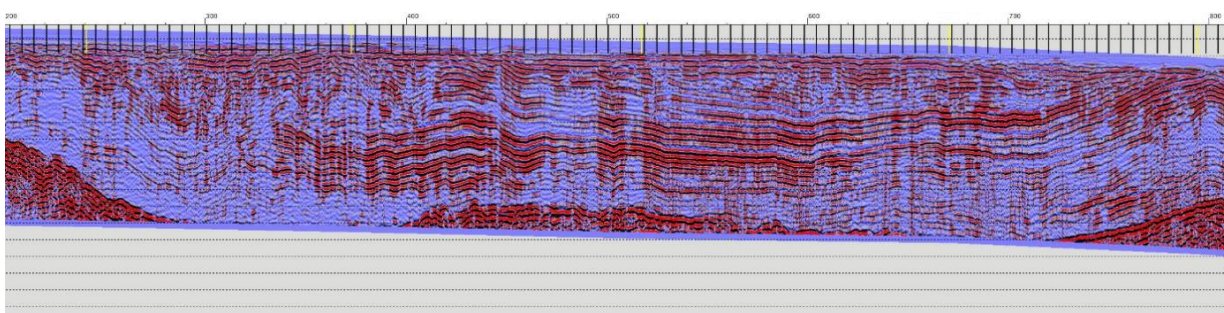


Kuva 27. Posion tutkimusalueen linjan Kurpungangas 13 väli 1420-1700m. Profiililta erotettavissa moreeni/kalliopintaan nojautuvia harjun rakenteita. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



Kuva 28. Posion maatulkuutusprofiili Jalankangas 13. Harju erotettavissa profiilista suhteellisen hyvin. Vieressä uoma, jota ei tule sekoittaa yhdessä moreenikummun rakenteiden kanssa toiseksi harjuksi. Maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Harjujakson ja pohjoisosien kalliokynnyksen ja moreenikumpujen lisäksi tutkimusalueelle ominaista ovat lukuisat peittyneet ja avoimet sulamisvesiuomat. Tutkimusalueen koillisosaa hallitsevat kallio- ja moreenikumpujen välistä pääasiassa lännestä itään suuntautuvat suuret sulamisvesiuomat (kuva 29). On tosin myös havaittava, että tutkimusalueen muitakin osia halkovat lukuisat sulamisvesiuomat, jotka kulkevat tutkimusalueen läpi lähinnä luode-kaakko ja länsi-itä suuntautuneina (kuva 22). Osa näistä uomista on maa-ainesten peittämiä (esimerkiksi kuva 26 ja kuva 29), kun taas osa uomista halkoo tutkimusaluetta kulkien sen pinnalla. Nämä lukuisat pinnalla kulkevat peittymättömät uomat voi havaita hyvin esimerkiksi varjostetusta korkeusmallista (kuva 22). Näihin avoimiin sulamisvesiuomiin on sittemmin asettunut jokia, mutta on siis havaittava, että nykyiset joet eivät ole kuluttaneet näitä jo glazifluviaalista perua olevia sulamisvesiuomia. Nykyiset joet ja purot ovat vasta sittemmin asettuneet valmiisiin avoimiin uomiin.



Kuva 29. Posion maatulkuutusprofiili Peräkangas 4, 200-800m. Moreenin päällä selkeästi erottuva erittäin suuri sulamisvesiuoma. Maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

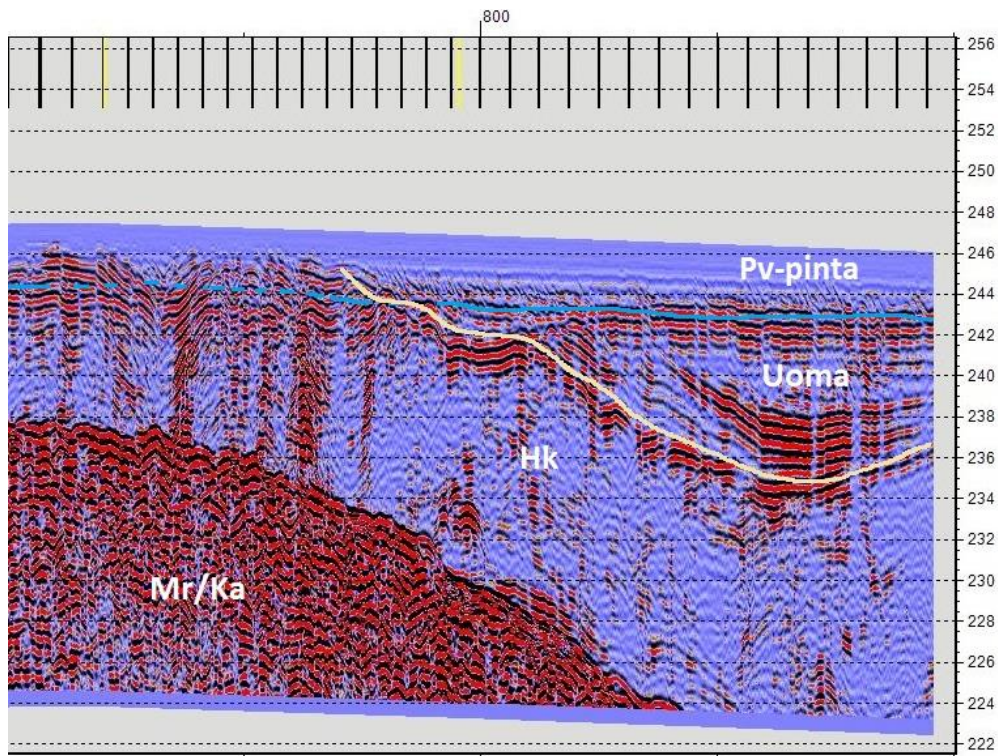
Posion luotusprofiileita tavattiin myös ryhmä pienempiä harjuja, jotka lienevät muodostuneen aluetta peittäneen jäätikön railoissa. Nämä harjut sijaitsevat Peräkankaan pohjoisosassa. Kaksi harjuista havaitaan varjostetusta korkeusmallista Lylykankaan itäpuolelta. Peräkankaan linjalta 5 nämä harjut ovat erotettavissa välillä 250-600m (liitteet 38 & 39).

5.1.2 Posion jokiuomat

Kaikkia Posion tutkimusalueen jokiuomia ei pystytty suoraan ylittämään maatutkalla niissä virtaavan vesimäärän vuoksi. Tällöin jokiuoman ylityksiin viitataan linjoilla, jotka kohtaavat toisensa jokiuoman eri puolilta, eli linjat ylettyvät laajemman jokiuoman keskellä virtaavan joen, taikka puron törmälle asti. Kun näiden kahden erillisen linjan päät, eli törmille luodatus linjojen alku- ja loppupisteet yhdistetään, menetetään profiilin osalta vain uoman vesialueen alapuolisen profiilin, eli metrin tai pari. Posion maatutkalinjoista jokiuoman ja samalla pohjavesialueiden rajan ylittivät:

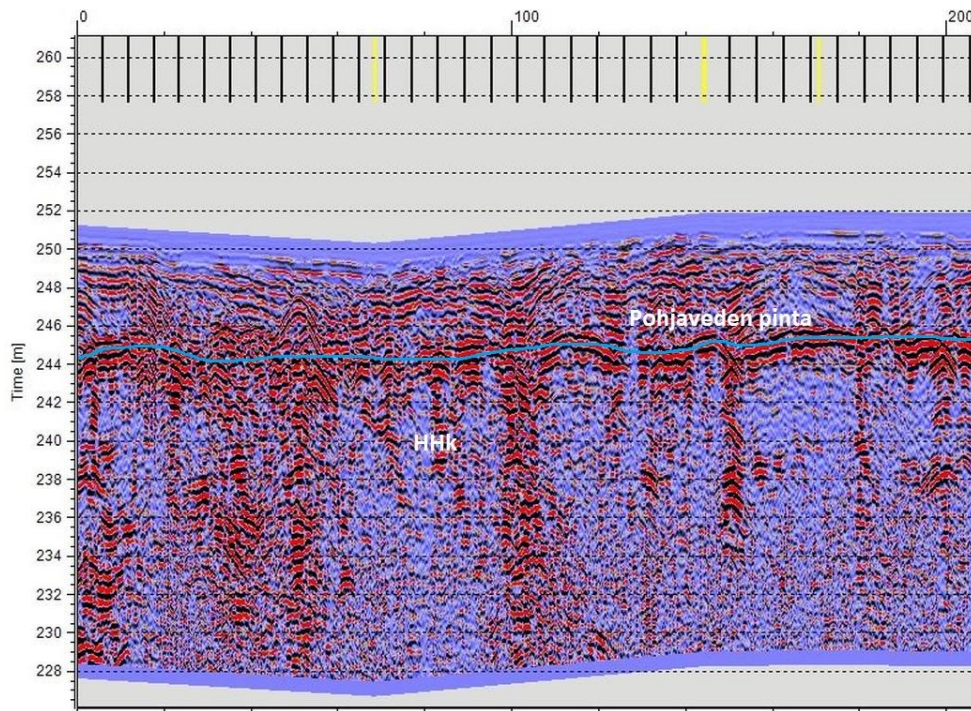
- Peräkankaalla yhdessä linjat Peräkangas 6 ja Isokangas 9
- Jalankankaalla yhdessä linjat Jalankangas 13 ja Jalankangas 11 sekä yhdessä linjat Jalankangas 16 ja Isokangas 8
- Rytinginkankaalla yhdessä linjat Isokangas 11 ja Rytinginkangas 17
- Isokankaalla yhdessä linjat Isokangas 7 ja Jalankangas 13

Linjojen Peräkangas 6 ja Isokangas 9 osalta jokiuoman alueilta ei profiililta havaita paksuja savikerroksia, jotka voisivat johtaa pohjavesialueen rajaamiseen. Linjan Isokangas 9 profiilin osalta tiiviiden maa-ainesten kerrokset ovat aivan pinnassa ja niitä on hyvin vähän, vain alle metrin verran. Linjan Peräkangas 6 osalta jokiuoman kohdin havaitaan kaarevia heijasteita (kuva 30), mutta nämä liittyvät alueen kokonaistulkinnan huomioon ottaen pikemmin aluetta halkoviin sulamisvesiuomiin, kuin nykyisen joen kerrostamiin aineksiin. Lisäksi huomataan profiililla hyvin erottuvan pohjaveden pinnan jatkuvan tasaisena jokiuoman molemmin puolin (liitteet 40 & 41). Hydrologinen yhteys siis säilyy jokiuomasta huolimatta.

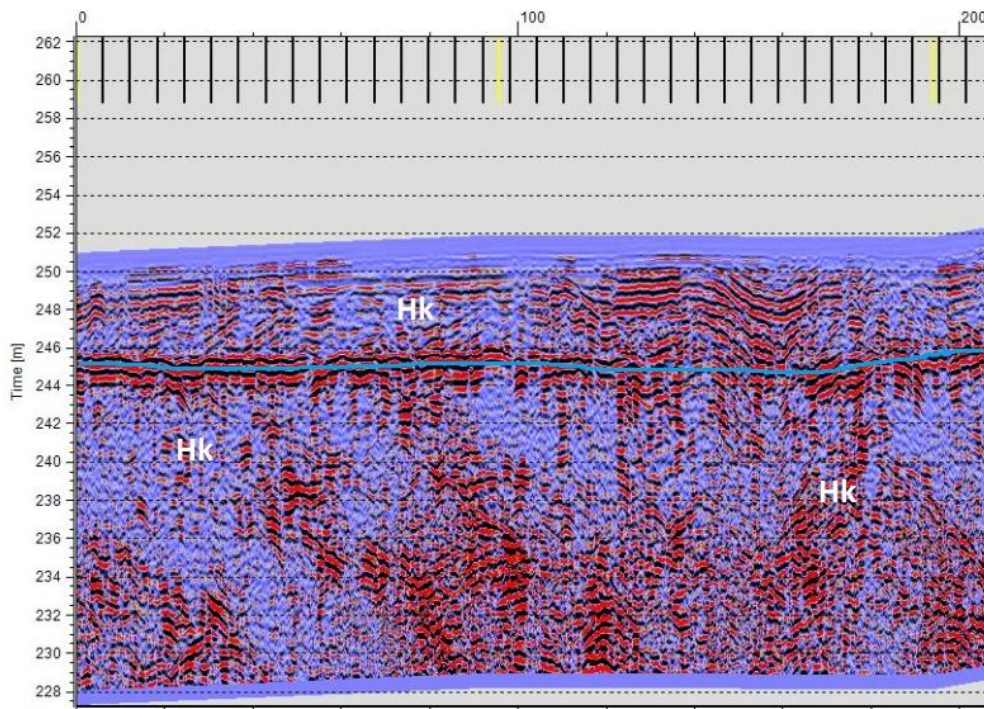


Kuva 30. Posion maatutkaluotausprofiili Peräkangas 6 (700-900m). Täyttynyt sulamisvesiuoma erottuu selvästi, samoin kuin tasainen pohjaveden pinta. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Jalankankaalla linjat Jalankangas 13 (liitteet 26 & 27) ja Jalankangas 11 (kuva 31) ylittävät Lauhkeantietä pitkin Lauhkeaa ja Iso-Kurppua yhdistävän jokiuoman. Myöskään näiden linjojen profiileilta ei ole tulkittavissa merkittäviä hienoaineskerroksia. Näiltä profiileilta pohjaveden pinta erottuu tasaisena, eli pohjaveden pinta on samalla tasolla jokiuoman molemmin puolin. Nämä tekijät yhdessä viittaavat hydrogeologisen yhteyden säilymiseen. Linjat Jalankangas 16 (liitteet 28 & 29) ja Isokangas 8 (liitteet 20 & 21) ylittävät puolestaan Rytinginjärveä ja Syvälampea yhdistävän jokiuoman. Jokiuoman kaareutuvat kerrosrakenteet erottuvat jokiuoman kohdin selkeästi, mutta jo edellä esitettyjen tulkintojen perusteella nämäkin uomat ovat glasifluvilaalista perua, eikä nykyisen joen kerrostamia. Pohjaveden pinta on hyvin lähellä maanpintaa ja vaikuttaa tasaiselta jokiuoman molemmin puolin. Paksuja savi- tai silttikerroksia ei profiililta ole tulkittavissa. Tässäkin tapauksessa perusteita pohjavesialueen rajaamiselle ei ole, sillä hydrologinen yhteys ei katkea.



Kuva 31. Posion kokonaisuuden maatumkaluotauslinja Jalankangas 11 väli 0-200. Jokuuoma sijaitsee kuvan vasemmassa laidassa. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



Kuva 32. Posion kokonaisuuden maatumkaluotauslinja Kurpungangas 13, väli 0-200m. Pohjaveden pinta merkitty kuvaan sinisellä. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).

Rytinginkankaalla linjat Isokangas 11 ja Rytinginkangas 17 kulkevat Rytinginkangasta ja Isokangasta luode-kaakko suunnassa jakavan jokuoman yli. Näiden linjojen osalta havaitaan jokuoman kohdin lähes kymmenen metrin syvyyteen asti kohtuullisen voimakkaita heijasteita, jotka lienevät kokonaisuuden huomioiden karkeita runsaasti vettä sisältäviä maa-

aineksia. Pohjaveden pinta on myös hyvin lähellä maanpintaa ja jatkuu katkeamatta jokiuoman molemmin puolin, jolloin hydrologisen yhteyden voidaan tulkita säilyvän. Tällöin alueiden rajaamiselle erilleen ei ole perusteita.

Isokankaalla linjat Isokangas 7 ja Jalankangas 13 kulkevat Lauhkeantietä pitkin ylittäen Rytinkiä ja Syvälampea yhdistävän jokiuoman ja joen. Näiden linjojen osalta tilanne on jälleen hyvin vastaava, kuin edeltävien jokiuomien ylittävien linjojen kohdalla. Profiililta erottuu uoman täyttyneitä maaperärakenteita, mutta nämä ovat syntyneet kokonaisuuden huomioiden jo deglasiaation aikana. Syvälle ulottuvia hienoainesrakenteita ei havaita. Lisäksi pohjaveden pinta pysyy tasaisena jokiuoman molemmin puolin.

Kokonaisuutena Posion jokiuomista voidaan todeta, että nämä paikoin laajatkin jokiuomat ovat syntyneet jo deglasiaation aikana jäätikön sulamisvesien vaikutuksesta. Osa näistä uomista on täyttynyt, osa taas ei. Nykyiset joet ovat asettuneet sittemmin täyttymättömiin uomiin, tai täyttyneiden uomien päälle. Savikerrokset näiden glasifluviallisten jokiuomien pinnoilla ovat poikkeuksetta ohuita tai hyvin ohuita, eikä merkittäviä pohjaveden virtaukseen ja hydrologiseen yhteyteen vaikuttavia hienoaineskerroksia tavattu jokiuomien maatutkaluotausprofiileilta. Pohjaveden pinta oli usein hyvin tasainen jokiuomien molemmin puolin, mikä viittaa myös osaltaan hydrologisen yhteyden säilymiseen jokiuoman eri puolisten alueiden välillä. Merkittäviä pohjaveden pinnankorkeuksien vaihteluita ei tavattu yhdenkään Posion tutkimusalueen jokiuoman kohdin.

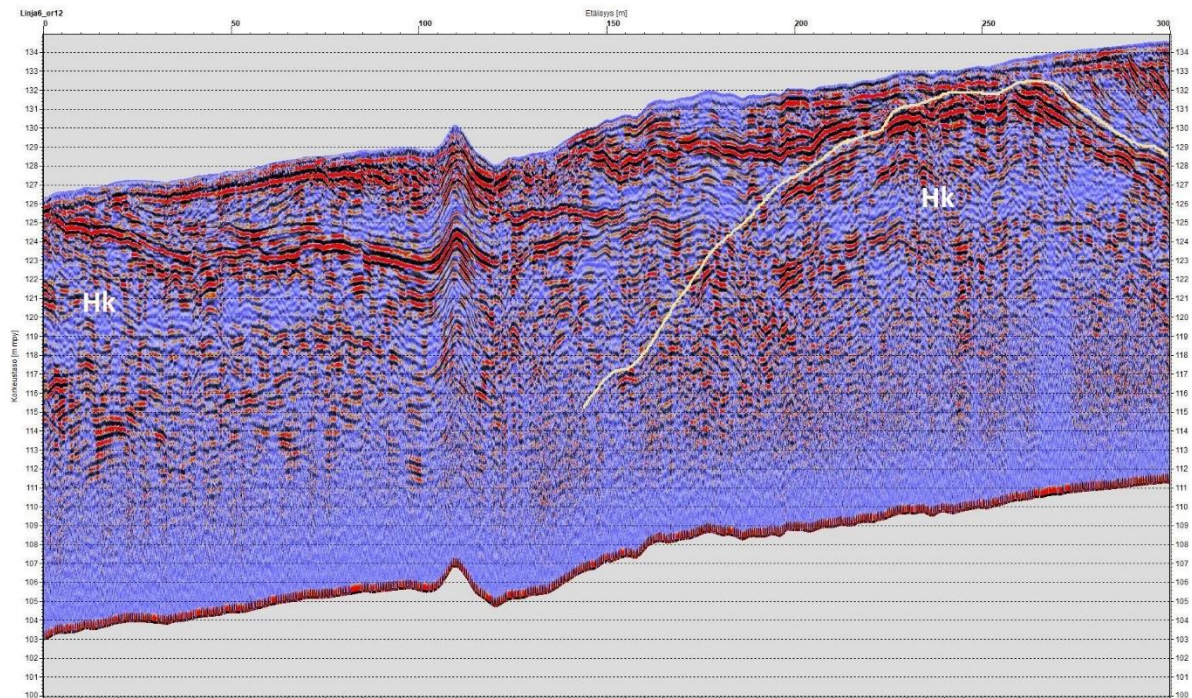
5.2 Pellon kokonaisuus

5.2.1 Pellon rakennetulkinta

Pellon tutkimusalueelle suunniteltiin yhdeksän maatutkalinjaa, jotka käytännön kenttätöiden osalta luotasi GTK syyskuussa 2018 (linjasto kuvassa 16). Luotaukset onnistuivat yleisesti kohtuullisen hyvin, eli profiileilla ei ollut tulkinnan estäviä häiriöitä ja toisaalta pohjaveden pinta sekä olennaisimmat geomorfologiset rakenteet oli profiileilta tulkittavissa. Kokonaisuutena linjojen voidaan todeta lisänneen ymmärrystä alueen kokonaiskuvasta ja rakenteista.

Pellon tutkimusalueen osalta tulkinta aloitetaan rakennetulkinnalla, jota tutkimusalueen kokonaiskuva rakentuu. Tutkimusalue on osa suurempaa harjujaksoa, joka erottuu selkeästi varjostetusta korkeusmallista, jatkuen tutkimusalueesta luoteeseen. Keskeisin havainto tutkimusalueen kokonaiskuvan muodostamisen kannalta lienee Orankitietä pitkin kulkeneelta linjalta 6. löytynyt harju (kuva 33 & liitteet 66-69). Harju on peittynyt deltan ainesten alle, eikä tällöin nouse maanpinnan yläpuolelle. Tämä harju on osa pitkää harjujaksoa, joka tavoittaa tutkimusalueen pohjoisesta, kulkien tutkimusalueen läpi kohti

Orajärveä. Harjun muodostanut jäätikköjoki on purkautunut lopulta Orajärveen ja osittain myös harjun loppuosan päälle haudaten sen deltansa alle.



Kuva 33. Pellon linjan 6 maatutkaluotausprofiili 0-300. Harjun poikkaisprofiili erottuu profiilista hyvin.

Maatutkaluotausprofiileista havaitaan, että maa-ainekset ovat kasautuneet ja kerrostuneet harjun itä- ja länsipuolisille liepeille erilaisissa olosuhteissa. Harjun itä- ja länsipuolista osista on muodostunut geomorfologisesti erilaiset, mikä johtuu harjun eri puolilla vallinneista erilaisista muodostumisolosuhteista. Valtaosa tutkimusalueesta sijaitsee harjun itäpuolella, eli harju kulkee deltan halki suhteellisen lähellä deltan länsireunaa. Harjun itäpuolisilla osilla on havaittavissa syviä, jopa noin 15 metriä maanpinnan alapuolelle ulottuvia uomia (liitteet 66-69). Täyttyneiden uomien kerrosrakenteet ovat selvästi havaittavissa luotausprofiileista. Itäpuolisilla alueilla aivan deltan pintaan on muodostunut myös pienempiä, muutaman metrin syvyisiä uomia (esimerkiksi liite 64).

Itäpuolelta on havaittavissa kaksi suurta uomaa. Näistä läntisempi, eli harjun kupeessa sijaitseva uoma havaitaan maa-ainesten peittämänä linjan 4 väliltä 150 m- 250 m (liite 63). Sama uoma löydetään linjaan 4 nähden samansuuntaiselta, mutta etelämpänä kulkevan linjan 6. profiilista väliltä 450-600m (liite 67). Toinen tutkimusalueen laajoista uomista on jäänyt pääosin avoimeksi, eli tämä sulamisvesiuoma ei ole täyttynyt maa-aineksilla. Nykyinen Orankijoki on sittemmin asettunut kyseiseen uomaan, joka näkyy erityisen hyvin varjostetusta korkeusmallista (Kuva 35). Nykyisen tutkimusalueen maatutkaluotauksin ei kuitenkaan pystytä vastaamaan kysymykseen, yhtyvätkö nämä kyseiset uomat pohjoisempana, vai pysyvätkö nämä uomat erillään harjun itäpuolella. Karttatulkinnan perusteella näyttää todennäköiseltä, että uomat yhtyvät. Toisaalta tällä seikalla ei ole suoranaista vaikutusta

tutkimusalueen pohjavesialueiden hydrologisen yhteyden olemassaoloon, pohjavesialueen rajaamiseen tai jokiuomien vaikutuksiin pohjavesialueiden rajaamisen kannalta.

Linjan 7 kohdin tämä suuri avonainen sulamisvesiuoma ei ole täyttynyt maa-aineksilla, vaan esimerkiksi varjostetusta korkeusmallista näkyy selkeästi, kuinka tämä avonainen sulamisvesien kuluttama uoma johtaa Orajärveen (kuva 35). Maatutkalinjojen profiileista, kuten linjan 3 profiililta (kuva 34) 300-600m, on tulkittavissa, että itse Orankijoki ei ole juurikaan kuluttanut, taikka vastaavasti täyttänyt, tätä uoma. Edellä mainitusta profiilista havaitaan, että jokiuoman molemmiin puolin on nähtävissä samat kerrosrakenteet ehjinä, ja voidaan havaita, että kerrosrakenteet taipuvat jokiuomaan, mikä viittaa joen vähäiseen vaikutukseen eroosiovoimana. Jokiuoma ei siis ole nykyisen joen kulutustyön aikaansaama, vaan glasifluviaalisten sulamisvirtojen kovertama. Tähän valmiiseen paikoin laajaan uomaan nykyinen Orankijoki on sittemmin asettunut.

Sekä harju että sen itäpuoliset uomat suuntautuvat kohti Orajärveä, jonka pohjalle lienee kerrostunut harjujakson kuljettamia hienoaineksia. Tätä arviota tukevat myös Orajärven etelä- ja kaakkoispuolisten alueiden savipitoiset alueet, jonne harjujakson kuljettamat hienoainekset ovat levittäytyneet. Harjuillehan tyypillistä on, että hienoainekset, kuten savet ja siltit ovat kulkeutuneet sulamisvesivirtojen myötä kauemmas, esimerkiksi juuri deltan ulkopuolisille alueille. Näitä hienoaineksia on voinut jäädä tosin ohuelti myös jokiuomien pinnalle, mutta luotausprofiilien tulkinnan perusteella kyse ei ole paksuista kerroksista.

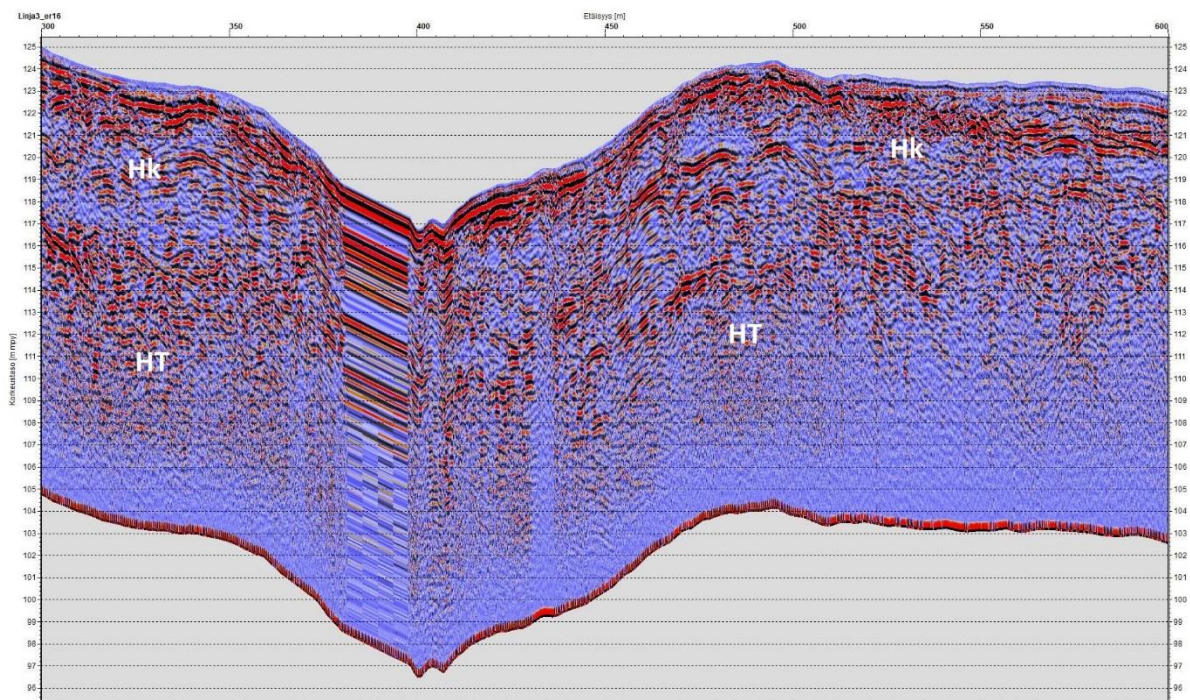
5.2.2 Pellon jokiuomat

Maaperäkairauksia on suoritettu etenkin Saukonmäen koilliskulmassa (kuva 16). Esille nostettakoon kairauspiste 317 (Pohjavesitutkimus 1986), joka sijaitsee ”Orankijoen varressa oleva(ssa) montussa.” Tämä kairauspiste on tämän tutkielman kannalta oleellinen antaessaan tietoa jokiuoman maaperästä ja sen kerroksista. Välillä 0-6 metriä aines oli hiekkaa, jota seurasi 12,5 metriin asti kestävä hietakerros, tätä syvemmälle ei kairattu. Kyseisessä kairauspisteessä aines oli välillä 6-8 metriä ”niin hienoa, että ei voi pumpata, nousee kyllä pumpulla ylös (aivan hieno hieta).” Tämä hienoaineskerros ei täytä kolmen metrin kriteeriä, eikä toisaalta muutoinkaan vaikuta olevan riittävän tiivis eristämään täysin pohjavesialueita toisistaan. Tämä havainto on tehty vain yhdestä montusta, joten hienoaineskerrosten laajuuksista havainto ei kerro. Lisäksi tämän kairauspisteen yleistettävyyden haastaa myös havainto kairauspisteen sijoittumisesta ”monttuun”, joka on alueen kokonaiskuva huomioiden todennäköisesti suppa. Suppien maakerrokset poikkeavat usein alueen muista maaperärakenteista, juuri hienoainesten ollessa tavanomaisia.

Vaikka Pellon tutkimusalueen jokiuomat todettiin olevan glasifluviaalista perua, mutta tämä ei ole vielä yksin pohjavesialueiden rajaamisen ja hydrologisen yhteyden kannalta

käänteentekevä havainto. Keskeistä on kiinnittää huomiota näiden jokiuomien ympäristöjen maaperäkerroksiin.

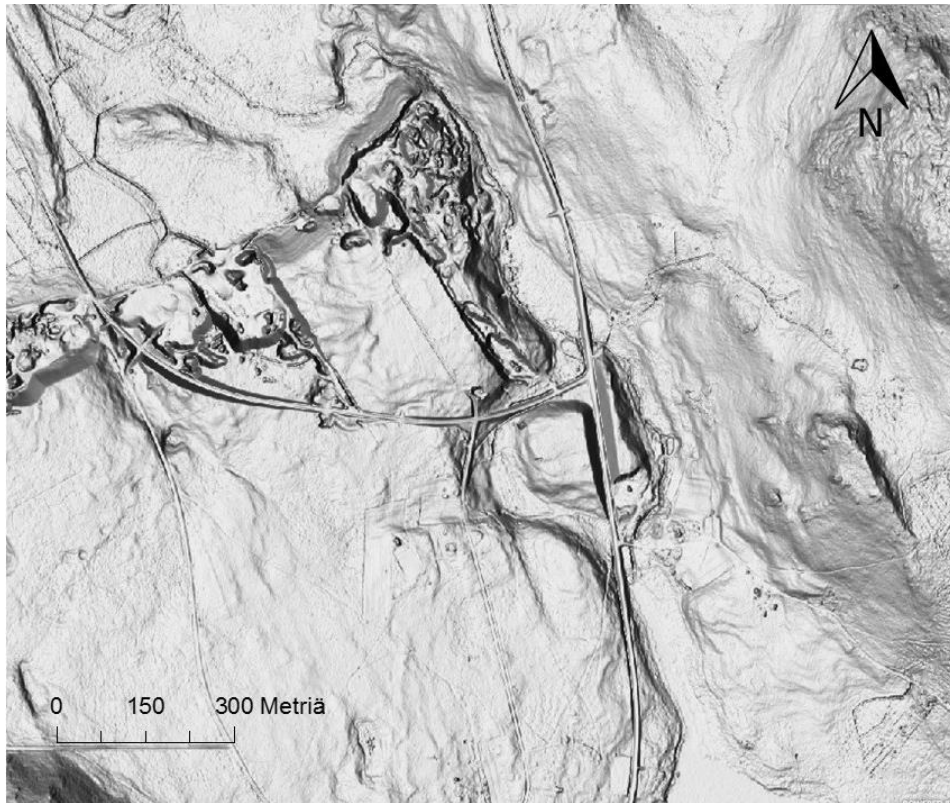
Linjan 3 ylittäessä Orankijoen on syytä kiinnittää huomiota tämän linjan uoman ylittävään väliin 300-600m (kuva 34). Tiiviistä maa-aineksista kertovia voimakkaita signaaleja havaitaan vain aivan profiilin pinnasta, noin maaperän ylimmän metrin osuudelta. Tällä kohtaa jokiuomaa tiiviiden maa-ainesten vertikaaliulottuvuus ulottuu siis ainoastaan maaperän ylimmän metrin paksuudelle. Näin ohut tiiviiden maa-ainesten kerros ei voi katkaista hydrologista yhteyttä jokiuomien eri puolien välillä, jolloin perusteita pohjavesialueen rajaukselle ei vaikuttaisi tällä kohtaa jokiuomaa olevan.



Kuva 34. Pellon linjan 3. maatulkuutusprofiili 300-600m. Profiilissa häiriö välillä 365-395m.

Orankijoen ylittää myös maatulkuutuslinja 2 noin 450 metrin kohdin (liite 56). Tästä profiilista ei ole jokiuoman kohdalla havaittavissa syviä ja yhtenäisiä tiiviiden maa-ainesten kerrostumia, jotka voisivat vaikuttaa pohjavesialueen rajausperusteina. Pohjaveden pinta on kyseisellä kohdalla hyvin pinnassa, vain noin 1-2 metriä maanpinnasta. Pohjaveden pinta jatkuu tasaisena jokiuoman alta, mikä edelleen tukee vesimassojen hydrologisen yhteyden katkeamattomuutta.

Kolmas kohta, jossa maatulkuutuslinja ylittää jokiuoman, on aivan linjan 1 alkupäässä. Tällä kohtaa tiiviitä maa-aineksia on parin-kolmen metrin verran, mutta näiden vertikaaliulottuvuus ei ole riittävä rajausperusteeksi, sillä profiilin tulkintojen myötä kyseiset tiiviit maa-ainekset eivät katkaise pohjavesimuodostumien välistä hydrologista yhteyttä.



Kuva 35. Pellon tutkimusalueen varjostettu korkeusmalli. Huomaa kuvan luoteiskulmasta kuvan kaakkoiskulman Orajärveen kulkeva sulamisvesivirtojen kovertama jokiuoma. Kuvan mukailen lähteestä: Maankamara, GTK. 5.3.2019.

Kokonaisuutena Pellon tutkimusalueen jokiuomista voidaan todeta, että Orankijoki kulkee glasifluviaalisessa sulamisvesien kovertamassa uomassa, eikä nykyinen Orankijoki ole itse kuluttanut laajahkoa uomaansa. Tiiviitä maa-aineksia jokiuomissa on pääasiassa metrin taikka kahden syvyyteen asti, vaikkakin kairauksin on havaittu myös useamman metrin syvyisiä silttikerroksia, joissa vedenjohtavuus on heikko. Siltti- ja savikerrokset eivät kuitenkaan ole maatutkaluotausten perusteella horisontaalisesti riittävän kattavia ja yhteneväisiä taikka vertikaalisesti riittävän ulottuvia hydrologisen yhteyden katkaisemiseksi ja pohjavesialueiden rajausperusteeksi. Maatutkaluotausten perusteella pohjaveden pinta jatkuu pääasiassa samalla tasolla jokiuoman molemmin puolin, jolloin tämäkään ei viittaa hydrologisen yhteyden katkeamiseen ja tiiviiden maa-ainesten riittävän laaja-alaiseen ilmenemiseen Orankijoen uoman kohdin.

Tämän tutkielman maatutkaluotauksin tuotetut aineistot tukevat Lapin ELY-keskuksen keväällä 2018 tekemää rajausmuutosta, jossa Orankijoen uomaa seuraileva Myllylaen ja Saukonmäen pohjavesialueet toisistaan erottava pohjavesialueenraja poistettiin. Perusteita pohjavesialueen jakamiseen kahteen Orankijoen uoman johdosta ei myöskään tämän tutkielman perusteella ole, vaan alueiden hydrologisen yhteyden säilyminen vaikuttaa hyvin ilmeiseltä.

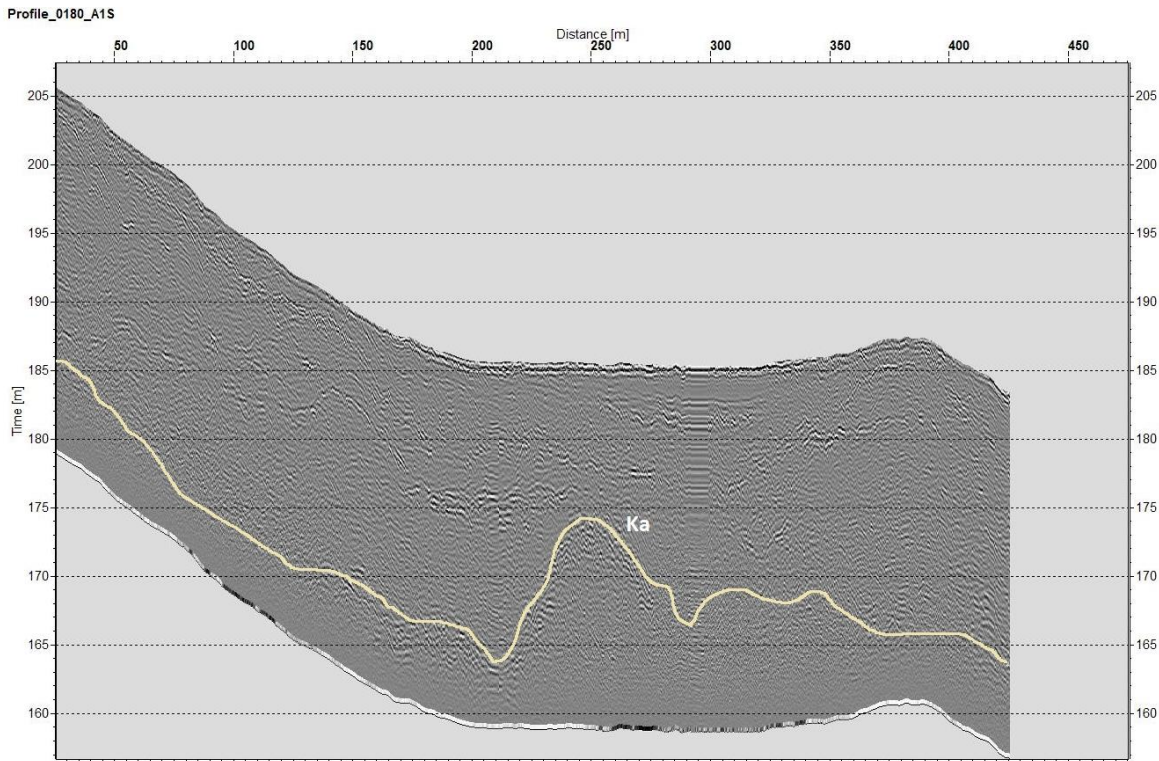
5.3 Rovaniemen kokonaisuus

5.3.1 Rovaniemen rakennetulkinta

Rovaniemen tutkimusalueella, eli nykyisellä Hete-Utsakan pohjavesialueella suoritettiin maatulvakuutauksia GTK:n toimesta syksyllä 2017 (Lapin ELY-keskus 2018: 7). Linjoja luodattiin yhteensä seitsemäntoista ja nämä ylettyvät kaikkien kolmen vanhan pohjavesialueen alueille (kuva 18). Tässä tutkielmassa hyödynnettiin ainoastaan kolmea jokiuoman ylittävää linjaa. Rovaniemen tutkimusalueen ominaispiirteisiin kuuluu sen selvä harjumainen olemus. Rakennetulkinnan kannalta tiedostetaan jo geomorfologisen muodostuman päätyypin, mutta huomiota kiinnitetään jokiuomien maakerrosten ohella kalliokynnyksiin, harjun maakerrokseen sekä esimerkiksi suppiin ja piilosuppiin, jotka voivat osaltaan vaikuttaa hydrogeologisiin olosuhteisiin.

Tähän tutkimukseen mukaan saatujen profiilien tulkinta on varsin haastavaa mustavalkoisten profiilikuvien johdosta. Koska alueella ei ole suoritettu myöskään maaperäkairauksia, joudutaan pohjaveden referenssiaineistoina käytettävien pohjaveden pinnankorkeuksien suhteen turvautumaan läheisten järvien pinnankorkeuksiin.

Maatulvulinjan F180 profiilista havaitaan heijaste väliltä 200-250m, joka ulottuu noin 10 metriä maanpinnan alapuolelle (kuva 36). Tämä heijaste lienee kalliokynnys. Pohjaveden pinnankorkeus liikkuu Poojärven ja Särkijärven pinnankorkeuksien perusteella +183,8:deksan (mpy.) ja +186,6:den (mpy.) välillä. Tasolle +175 (mpy.) nouseva kalliokynnys sijoittuu tällöin vähintään kahdeksan metriä pohjaveden pinnan alapuolelle, eli kalliokynnys ei liene toimivan hydrologisen yhteyden katkaisevana tekijänä (kuva 36). Myös Lapin ELY-keskuksen (2018:58) tutkimusraportissa päädyttiin tulkintoihin, joissa kalliokynnys ei hydrologista yhteyttä katkaise. Muutoin maatulvakuutusprofiileilta ei ollut tulkittavissa kalliokynnyksiin tai muihin maaperän rakenteisiin liittyviä tekijöitä, jotka tukisivat pohjavesimuodostumien hydrologisen yhteyden katkeamista.

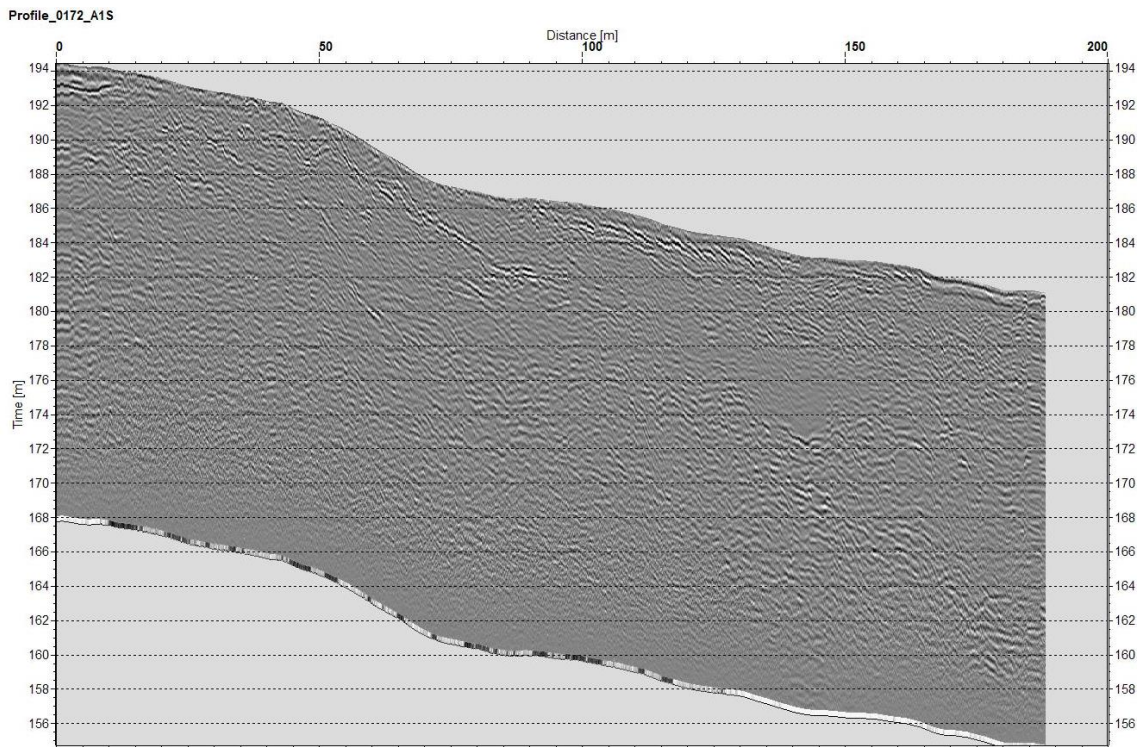


Kuva 36. Rovaniemen maatutkaluotauslinjan F180 profiili, johon on hahmoteltu linjalta havaittu kalliokynnys. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017f).

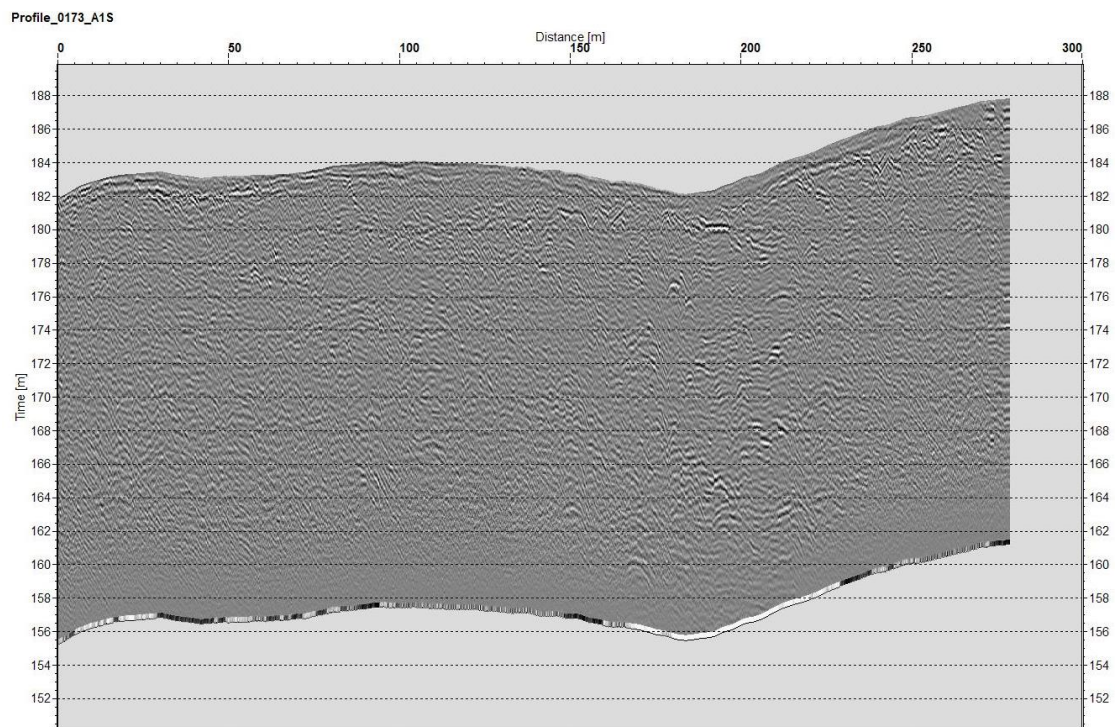
5.3.2. Rovaniemen jokiuomat

Linjat F172 ja F173 ylittävät Poojoen, kun taas linja F180 ylittää vanhan Poojoen ja Hete-Utsakan pohjavesialueiden välisen notkelman. Linjan F180 maatutkaluotausprofiilista havaitaan maanpinnasta noin metrin syvyydelle voimakas heijaste. Heijasteen aiheuttanevat tiiviit maa-ainekset. Toisaalta tämä ohut kerros ei vaikuta pohjavesialueiden väliseen hydrologiseen yhteyteen, eikä tällöin pohjavesialueiden rajaamiseen. Näin pinnassa kulkeva ohut maakerros ei voi mitenkään muodostua pohjavesialueen rajaamisperusteeksi.

Linjat F172 ja F173 ylittävät jokiuoman siten, että linja F172 saavuttaa Poojoen koillisesta ja linja F173 jatkaa Poojoen lounaispenkalta. Näistä linjaprofiileista havaitaan, että jokiuoman kohdin maaperän kerrokset eivät näytä muuttuvan olennaisesti. Hienoaineksia vaikuttaa esiintyvän pinnalta noin metrin syvyydelle asti, mutta tämänkään jokiuoman kohdin nämä hienoainekserrokset eivät kuitenkaan jatku syvälle maaperään asti. Tällöin ne eivät myöskään voi erottaa pohjavesimuodostumia toisistaan. Vaikka näiden Rovaniemen tutkimusalueen maatutkaluotausprofiilien tulkinta ei ollut kovinkaan helppoa, olisi yhtenäiset ja paksut tiiviit maakerrokset silti todennäköisesti profiileilta erottuneet voimakkaiden heijasteidensa johdosta. Maatutkaluotausprofiilien perusteella syytä hydrologisen yhteyden katkeamiselle ei Poojoen jokiuoman kohdallakaan ole.



Kuva 37. Rovaniemen kokonaisuuden maatutkaluotauslinja F172. Tiiviiden maa-ainesten aiheuttamia heijasteita ei tavata linjan väliltä 150-200m (distance). Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017f).



Kuva 38. Rovaniemen kokonaisuuden maatutkaluotauslinja F173. Jokuoma sijaitsee profiilin välillä 0-50 metriä. Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017f).

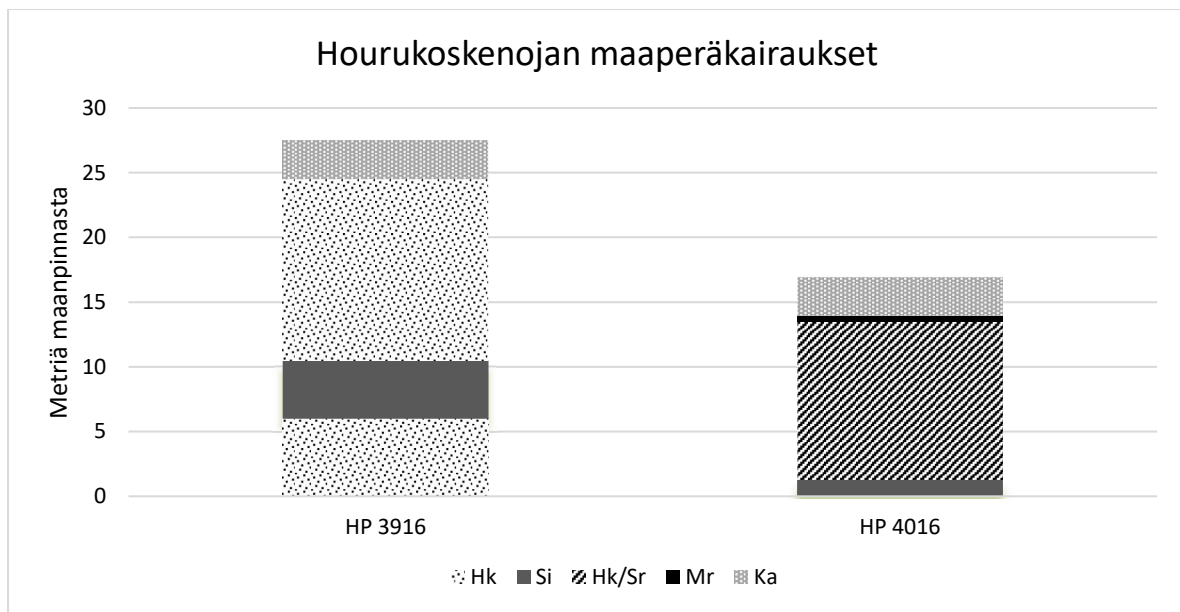
Rovaniemen tutkimusalueen osalta Lapin ELY-keskuksen ratkaisu pohjavesialueiden yhdistämisestä vaikuttaa oikealta, sillä perusteita jokiuomien mukaisille pohjavesialueiden rajoille ei tämänkään tutkielman valossa ei ole. Pohjavesialueet yhdistettiin Lapin ELY-keskuksen toimesta viitaten geologisen kokonaisuuden mukaiseen pohjavesialueiden rajaamiseen. Vaikka ohjeistus on muuttunut geologisesta kokonaisuudesta hydrogeologisen kokonaisuuden mukaiseksi rajaamiseksi, vaikuttaa alueiden yhdistäminen silti oikealta ratkaisulta.

5.4 Kolarin kokonaisuus

5.4.1 Kolarin rakennetulkinta

Kolarin tutkimusalueen Hourukoskenojan A ja B pohjavesialueiden osalta tutkimusaineistot, eli niin maatutkaluotaukset kuin kaksi maaperäkairausta työstettiin GTK:n toimesta POSKI2-hankkeen yhteydessä. Näiden linjojen ja kairausten suunnitteluun ei osallistuttu tämän tutkielman osalta. POSKI2-hankkeessa tavoitteena oli muodostaa laaja-alainen käsitys tutkimusalueesta, jonka johdosta tehdyt linjat sopivat hyvin myös jokiuomien tarkasteluun. Kairaukset eivät osuneet Hourukoskenojan jokiuoman kohdalle, jolloin ne toimivat lähinnä arvokkaana referenssitietona maatutkaluotauksille. Hourukoskenojan maatutkaluotauslinjaston linjat ylittävät kahdesti (kuva 20). Linja F10 ylittää jokiuoman etelässä Äkäsjoentietä pitkin. Linjan F10 pohjoispuolella linja F6 kohtaa Hourukoskenojan laskeutuen sitä kohti koillisesta. Jokiuomaa ei tässä kohtaa voitu suoraan ylittää, kuten linjalla F10, joten linja F7 alkaa linjaa F6 vastapuolelta Hourukoskenojaa, eli Hourukoskenojan länsipuolelta, suuntautuen jokiuomalta luoteeseen.

Kairausten perusteella maaperän paksuus vaihtelee tutkimusalueen muodostavan glasifluviaalisen deltan eri puolilla merkittävästi. Kairauspisteen HP4016 mukaan Hourukoskenojan pohjavesialueen koillisosassa maaperän paksuus on noin 24 metriä, kun taas lounaassa kairauspisteellä HP3916 maaperän paksuus oli vain noin 14 metriä (kuvat 20 & 39). Kairauspisteen HP4016 kohdin tavattiin silttiä aivan pinnasta 1,3 metrin verran, kun taas lounaassa silttikerroksen paksuus oli suurempi ja se sijaitsi välillä 6-10,5 metriä. Kairaukset osoittavat pohjavesialueella esiintyvän erinäisillä syvyyksillä vaihtelevan paksuisia silttikerroksia, mutta niiden tarkempaa alueellista jakaumaa ja vaihtelua täytyy tulkita maatutkaluotauksen avulla.



Kuva 39. Rovaniemen kokonaisuuteen kuuluvien HP3916 ja HP4016 maaperäkairauspisteiden kairausprofiilit. Kuva mukailten lähdettä: GTK (2017b).

Hourukoskenojan luotusprofiileilta näkyy vaihtelevien silttikerrosten läsnäolo, sillä heijasteet ovat paikoin hyvin voimakkaita. Erityisen heikko signaalin läpäisevyys ja profiilin laatu oli Ojalan kylän kohdalla Äkäsjoentien reunaan kulkevalla linjalla F10. Ojalan kylän pohjoispuolella samaa tietä pitkin kulkevien linjojen F11 ja F12 laatu oli selkeästi F10:mentä parempi. Äkäsjoentie on hiekkatie, jolla käytetään kesäisin pölyntorjuntaan kesäsuolausta (Lindholm 2019). Linjan F10 kulkiessa Ojalan kylän läpi, on todennäköistä, että kyseistä tienkohtaa on suolattu kesäisin pölyntorjumiseksi Ojalan kylän kohdin. Tämän seurauksena linjan F10 profiilista syntyi todella heikko. Kyseisen profiilin (liitteet 15 & 16) kohdin on paikoin mahdotonta tulkita maaperän rakenteita ja heijasteita.

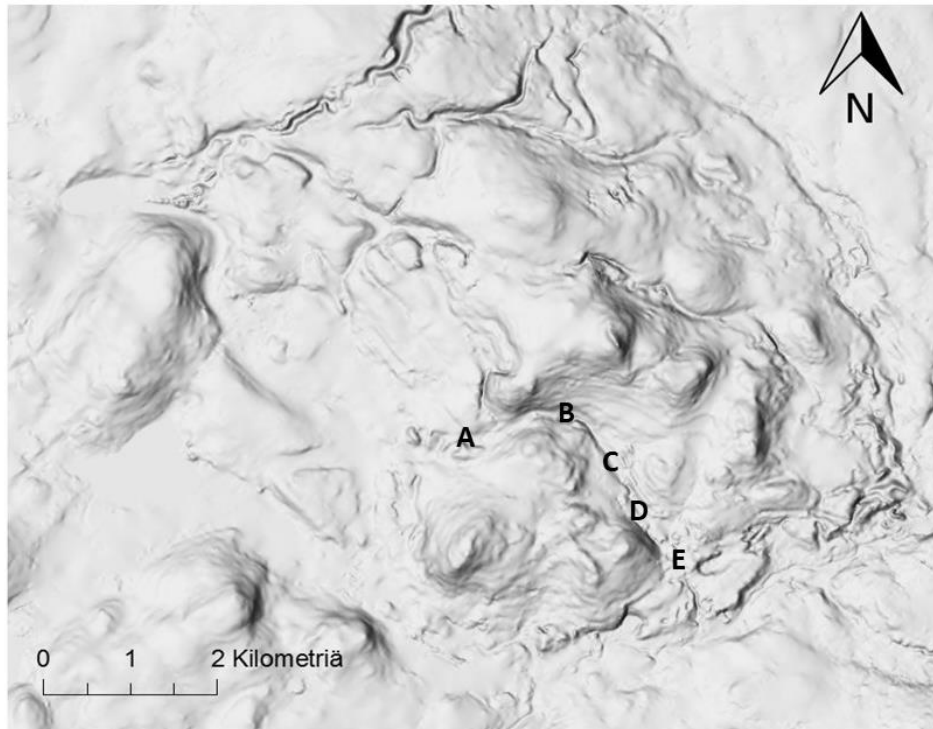
Tutkimusalueen kokonaiskuva oli hahmotettavissa muiden paremmin onnistuneiden luotusprofiilien kautta. Hourukoskenojan A ja B pohjavesialueiden geomorfologinen muodostuma on päällisin puolin glasifluviaalinen delttä. Tämä muodostuma on kuitenkin muodostunut kahdessa eri jaksossa, sillä geomorfologisen rakennetulkinnan kautta muodostumasta oli erotettavissa päällimmäinen ja selvästi erottuva luoteesta kerrostunut delttäosa sekä lähes kokonaan deltan alleen peittämä koillisesta/idästä tutkimusalueelle suuntautuva harjuosa. Muodostuma voidaan jakaa luonteenpiirteiltään Hourukoskenojan länsi- ja itäpuoliseen osaan, jossa itäosalle luonteenomaista on harjun hallitseva asema, kun taas muodostuman läntisissä osissa harju on jo kooltaan pienempi ja sulamisvesivirtojen muodostamat deltan rakenteet nousevat hallitsevaan asemaan. Lisäksi Rautusaartennivojen kohdalta, eli Hourukoskenoja B:n koillisosista voidaan profiileista erottaa myös moreenikumpuja, jotka ovat niin ikään peittyneet lähinnä deltan kasaamien maa-ainesten alle.

Muodostuman harjuosan voidaan tulkita syntyneen ensimmäisenä laajemman harjujakson osana. Vasta harjun muodostumisen jälkeen deltta kasautui luoteesta Juntinjärven, Simpsujärven, Simpsukursunojan, Hourukoskenjärvi ja Hourukoskenojan muodostamaa uomaketjua pitkin harjun päälle sekä peittämään harjun ja Tapovaaran väliin jäävää aluetta. Hourukoskenojan muodostuma voidaan jakaa itä-länsi suuntaisen jaon lisäksi muodostuman pohjois- ja eteläosiin, joista harjun vaikutus on huomattavampi etelässä, kun taas deltan rakenteet ovat vallitsevampia pohjoisemmissa osissa.

Deltan peittämä harju näkyy poikkileikkauksena hyvin linjalla F3 (liite 3). Harjun laki nousee paikoitellen jo muutaman metrin päähän maanpinnasta. Samoin harju tavoitetaan linjalta F5 (liite 5) ja linjalta F6 (kuva 41, liitteet 6 & 7), luotauslinjan kääntyessä jo harjun kulkusuunnan mukaiseksi etenemään sen lakea pitkin koillisesta lounaaseen. Harju näkyy tällä linjalla pitkittäissuuntaisena profiilina. Linjan F7 (liitteet 8 & 9) alkupäästä harjun profiili taas tavoitetaan viistosti harjun poikki kulkevalta linjalta. Linjalla F8 (liitteet 10 & 11) harjusta ei näy merkkejä, kun taas linjan F9 (liitteet 12 & 13) laskeutuessa deltan eteläpuolelle tavoitetaan jo pienentynyt harju nyt harjuun nähden poikittain kulkevasta profiilista. Näillä havainnoilla deltan alleen peittämä harju voidaan hahmotella etenevän deltan peittämän muodostuman eteläistä sivua pitkin muodostuman koilliskulmasta lounaaseen.

Glasifluviaalisen deltan hallitsevat läntiset ja pohjoiset osat muodostuivat luoteesta virranneiden sulamisvesivirtojen myötä. Luoteesta virranneiden sulamisvesien uomat erottuvat yhä hyvin esimerkiksi varjostetun korkeusmallin avulla (kuva 40). Kun varjostetun korkeusmallin avulla tarkastellaan tutkimusaluetta ja sitä ympäröivää maastoa etäältä, havaitaan kuinka tutkimusalueen deltta liittyy erottamattomasti näihin laajempiin sulamisvesiuomiin.

Kolmas Kolarin tutkimusalueen luonteenomaisista piirteistä on jääjärven korkeimmanrannan ulottuminen lähes deltan ylimpien osien tasalle (noin +200 mpy.). Tämä korkeinranta tavoitetaan maatutkaluotausprofiileilta F4 ja F8.



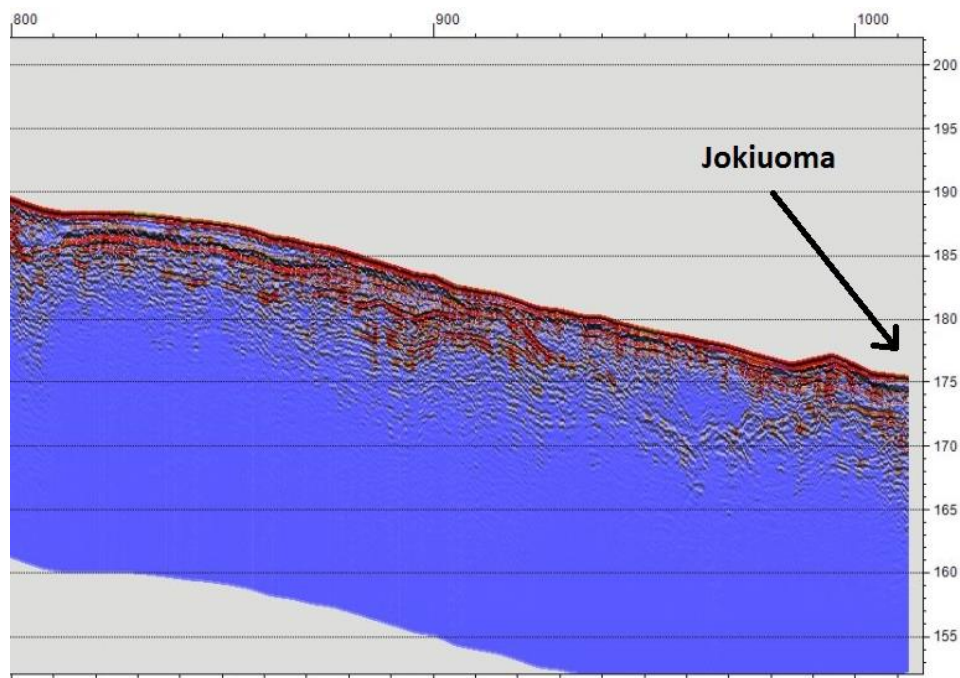
Kuva 40. Varjostettu korkeusmalli, jossa Kolarin tutkimusalue näkyy kuvan kaakkoiskulmassa. Tämä laaja kuva auttaa hahmottamaan erityisesti jokiuomien muodostamaa laajaa kokonaisuutta. A = Juntinjärvi, B = Simpsujärvi, C = Simpsukursunoja, D = Hourukoskenjärvi ja E = Hourukoskenoja. Kuva mukaillen lähteestä: Maankamara, GTK. 5.3.2019.

Kokonaisuutena Kolarin tutkimusalue on siis kahdesta eri aikaan syntyneestä osasta. Ensin muodostui itä-länsi suuntainen koillisesta tutkimusalueelle suuntautunut suurempaan harjujaksoon kuuluva harju, jonka lakikorkeus laskee tutkimusalueella länteen liikuttaessa. Jälkimmäisenä tähän geomorfologiseen kokonaisuuteen muodostui tutkimusalueen delttiosa. Tutkimusalueen luoteispuolelta on havaittavissa (kuva 40) suuret sulamisvesiuomastot, jonka Juntinjärvi, Simpsujärvi, Simpsukursunoja, Hourukoskenjärvi ja Hourukoskenoja mukaisen reitin loppuun delttia on kasautunut. Uoman kuljettamat glasifluviaaliset aineksat täyttivät harjun ja Taporovan-Kiuasselänjängän välisen maaston, kasaten maa-aineksia myös harjun päälle sekä sen eteläpuolelle. Hourukoskenojan uomassa kulkeneet sulamisvedet ovat kuluttaneet lopuksi delttan keskelle uoman, johon sittemmin Hourukoskenoja on asettunut.

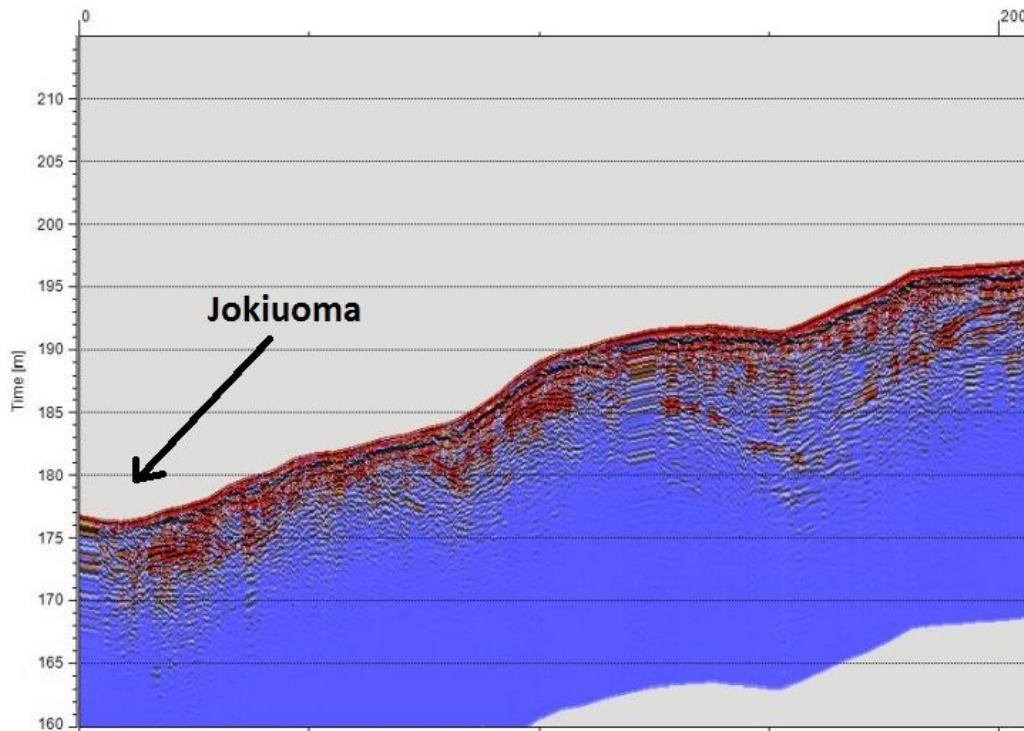
5.4.2 Kolarin jokiuomat

Jokiuomien tarkastelussa on jälleen otettava huomioon myös kokonaistarkastelun luoma kuva alueesta. Tällöin Hourukoskenoja ei ole nykyisessä muodossaan kuluttanut omaa uomaansa, vaan se on paremminkin asettunut valmiiseen sulamisvesien synnyttämään uomaan.

Linjojen F6 (kuva 41), F7 (kuva 42) sekä linjan F10 profiileissa ei tiiviiden ja paksujen maanainesten aiheuttamia heijasteita jokiuomien kohdin ole. Maaperäkerrokset vaikuttavat profiilien perusteella suhteellisen samankaltaisilta kuin jokiuoman ympärilläkin, eli ainakaan syviä tiiviitä maakerroksia jokiuomien kohdin ei luotusprofiileista ole havaittavissa. Jokiuoman alapuolisen maaperän heijasteet profiileilla vaikuttavatkin liittyvän pikemminkin harjuun sekä muihin maaperän rakenteisiin, kuin paksuihin hienoaineskerroksiin. Linja F10 on kappaleessa 5.3.1 mainittu Ojalan kylän Äkäsjoentietä pitkin ohittava linja, jolla pölynsidonnan vuoksi profiili on heikko. Mikäli jokiuoman kohdin paksuja savikerroksia olisi, niin ne silti todennäköisesti erottuisivat ympäristöstään hieman poikkeavina heijasteina Hourukoskenojan kohdalla.



Kuva 41. Kolarin maatulkuotuslinja (800-1000m) F6, joka kohtaa Hourukoskenojan koillisesta. Maatulkuotusdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



Kuva 42. Kolarin Hourukoskenojan maatumkaluotauslinja F7 (0-200m), joka jatkaa Hourukoskenojalta luoteeseen. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).

Profiilien tulkinnan kautta voidaan vetää johtopäätös, etteivät jokiuomien hienoainessedimentit ole vertikaalisesti riittävän kattavia katkaisemaan pohjavesialueiden välistä hydrologista yhteyttä, eli erottamaan pohjavesimuodostumia toisistaan. Tällöin Hourukoskenojan uoman kohdin kulkevalle, pohjavesialueet toisistaan erottavalle pohjavesialueen rajalle ei ole perustetta, sillä nykyisen lainsäädännön ja ohjeistusten mukaan hydrologisesti yhteydessä olevat pohjavesimuodostumat kuuluvat samaan pohjavesialueeseen.

6. Tulosten tarkastelu ja pohdinta

6.1 Jokiuomat pohjavesialueiden rajausperusteena

Geomorfologisen rakennetulkinnan kautta tutkimusalueista muodostettiin kokonaiskuvat, mikä edisti geomorfologista ja geologista käsitystä alueista. Tutkimusalueiden laajojen kokonaisuuksien ymmärtämisen kautta jokiuomien todettiin olevan glasifluvialista perua olevia sulamisvesiuomia. Näissä usein suhteellisen laajoissa uomissa virtaavat joet ja purot eivät siis ole kuluttaneet itse uomiaan, vaan nykyiset virrat ovat asettuneet valmiisiin uomiin. Tilanne on tutkimusalueiden osalta varsin vastaava, mitä jo Johansson ja Kujansuu (2005: 130) osoittivat tilanteeksi Pohjois-Suomessa jokiuomien suhteen usein olevan, eli uomien koot eivät ole suhteessa niissä nykyisiin virtaaviin jokiin ja puroihin. Sitten tutkimusalueiden

pohjavesialueet on rajattu pitkälti jokiuomien perusteella, sillä tiiviitä maa-aineksia oli havaittu pistokairauksin jokiuomien pinnoilta.

Kunkin tutkimusalueen jokiuomia tarkasteltiin erillään jo edeltävissä kappaleissa, joten seuraavassa luodaan yhteenveto jokiuomien vaikutuksista pohjavesialueiden rajaamiseen. Yhteenvedossa tarkastelun alla olleina muuttujina toimivat keskeisimmät seikat, joita luotausprofiileilta tulee tulkita tutkittaessa pohjavesialueen rajausperusteita, eli pohjavesimuodostuman hydrologista yhteyttä. Tämä tarkastelu kohdistettiin tutkimusalueiden kahdentoista jokiuoman alueella.

Ensimmäiseksi tarkasteltavaksi seikaksi valitsin tasaisen pohjaveden pinnan, sillä tämä viestii hydrologisen yhteyden jatkumisesta jokiuoman eri puolien välillä. Kuten edellä jo on todettu, hydrologisen yhteyden katkeaminen aiheuttaa usein muutoksia pohjaveden pinnankorkeuksiin. Toisena tarkastelun alla on kokonaisvaltaisesti hydrologisen yhteyden säilyminen, jota tulkitaan yhdessä pohjaveden pinnankorkeuden, maaperän rakenteiden, ja profiilin heijasteiden kanssa. Kolmantena tarkastelin maaperän rakenteita jokiuomien molemmin puolin, eli tarkastelussa kiinnitettiin huomiota heijasteiden jatkuvuuksiin jokiuoman kohdin ja sen ulkopuolilla, heijasteiden taipumisia jokiuomien kohdin ja ulkopuolilla sekä eroavatko jokiuomien maaperän rakenteet, eli heijasteet olennaisesti ympäristöstään. Viimeiseksi tarkastelin jokiuomien pinnoilta havaittujen sekä mahdollisesti muiden jokiuomien maaperissä esiintyvien tiiviiden maakerrosten vertikaali- ja horisontaaliulottuvuuksia. Tällöin keskeistä oli se, ovatko jokiuomien kohdin savi- ja silttikerrokset ”riittävän” paksuja pohjavesialueen rajausperusteena toimimiseksi.

Pohjaveden pinta oli kymmenessä tapauksessa tasainen jokiuomasta huolimatta, kahden jokiuoman kohdalta pohjaveden pintaa ei voitu luotettavasti todentaa. Rovaniemen tutkimusalueen linjojen F172, F173 ja F180 profiilit olivat niin tulkinnanvaraisia, ettei niistä ilman tarkempia referenssiaineistoja pystynyt varmasti määrittämään pohjaveden pinnankulkua. Tällöin nämä kaksi jokiuomaa tippuivat pohjaveden pinnankorkeuden tarkastelusta pois. Myös Hourukoskenojan linjaprofiili F10 (liitteet 14 & 15) oli Äkäsjoentien kesäsuolaamisen johdosta varsin heikkotulkintainen, mutta profiililta oli tulkittavissa pohjaveden pinnan tasainen luonne Hourukoskenojan molemmin puolin. Muiden kymmenen jokiuoman kohdin pohjaveden pinnat erottuivat selkeästi ja nämä olivat tulkittavissa tasaisiksi jokiuomien läsnäolosta riippumatta.

Hydrologinen yhteys vaikutti maatumkaluotausten valossa säilyvän kaikilla kahdellatoista jokiuomalla. Samoin maaperän rakenteet olivat kaikkien jokiuomien maaperien kohdin ympäristöihinsä nähden katkeamattomat ja yhtenäiset. Näitä maaperän rakenteita luonnehtivat glasifluviaaliset uomarakenteet, jotka koostuivat tavanomaisesti pääosin hiekasta. ”Riittävän” tiiviitä hienoainesmaakerroksia ei sen sijaan löytynyt yhdenkään jokiuoman maaperästä. Useimmiten hienoaineksia tavattiin vain maaperän ylimmän metrin osalta.

Pohjois-Suomen geomorfologisia hiekka- ja soramuodostumia pinnalta halkovat glasifluvialiset jokiuomat eivät siis lähtökohtaisesti katkaise alueillaan sijaitsevien pohjavesimuodostumien hydrologista yhteyttä. Tämän tutkielman mukaan savi- ja silttikerrokset eivät ole riittävän kattavia horisontaalisesti, eivätkä etenkin vertikaalisesti katkaisemaan pohjavesialueiden välistä hydrologista yhteyttä. Uomissa virranneet sulamisvesivirrat ovat jättäneet vain paikoin ohuita kerroksia hienoaineksia laajojen uomien pohjille. Hydrologisen yhteyden säilymistä tukevat myös pohjavesien tasaiset ja katkeamattomat pinnat. Glasifluvialista perua olevat jokiuomat eivät siis ole sellaisenaan peruste pohjavesialueiden rajaamiselle, vaan rajaamisen tueksi tarvitaan pistokairauksia kattavampia havaintoja tiiviiden maakerrosten vertikaali- ja horisontaaliulottuvuuksista.

Rovaniemen ja Pellon tutkimusalueiden pohjavesialueiden yhdistämiset vaikuttavat tämän tutkielman perusteella oikeilta ratkaisuilta. Tutkielma perusteella voidaan suositella myös Posion tutkimusalueen ja Kolarin tutkimusalueen pohjavesialueiden yhdistämisen harkitsemista, sillä rajausperusteena toimivat jokiuomat eivät tämän tutkielman perusteella katkaise kyseisillä alueilla pohjavesialueiden välisiä hydrologisia yhteyksiä, eivätkä näin ollen toimi pohjavesialueiden rajausperusteina. Posion alueella tulee tosin huomioida pohjois- ja luoteisosissa tavatun kalliokynnyksen mahdolliset vaikutukset pohjavesialueen rajaamiseen.

6.2 Lainsäädännön muutokset ja ohjeistuksen rooli

Hydrologeologisen kokonaisuuden (Britschgi ym. 2018: 56) mukaisella pohjavesialueiden rajaamisella on tarkoitus korostaa pohjavesialueiden rajaamisessa pyrkimystä laajoihin kokonaisuuksiin, jos siihen on alueen hydrologeologisten ominaispiirteiden valossa mahdollisuudet. Keskeistä on sana ”jos”, sillä hydrologeologisten kokonaisuuksien tavoittelu ei aja lainsäädännön luoman perustan edelle. Hydrogeologisen kokonaisuuden mukainen rajaaminen perustuu siis samoihin teemoihin, kuin lakiemme ja asetuksemme mukainen pohjavesialueiden rajaaminenkin.

Sen sijaan termi ”geologinen kokonaisuus” vaikuttaisi olleen vain lyhytaikainen visiitti pohjavesialueiden rajaamisoheistuksiin, sillä kyseisen termin noudattaminen olisi johtanut monenlaiseen problematiikkaan. Suomen ympäristökeskuksen uusimman (Britschgi ym. 2018c) ohjeistuksen myötä huomio tulee kiinnittää geologisen kokonaisuuden mukaisen pohjavesialueiden rajaamisen sijaan hydrogeologisen kokonaisuuden mukaiseen rajaamiseen.

Tämä nykykäytäntö on huomioitava myös tutkimuksen kontekstissa, sillä mikäli jokiuomat eivät katkaise pohjavesialueiden välistä hydrologista yhteyttä, tulee pohjavesialueet yhdistää niin lainsäädännön, kuin ohjeistustenkin perusteella. Vastaavasti mikäli vaikkapa kalliokynnykset, tai tiiviit maa-ainekset erottavat pohjavesimuodostumat toisistaan, tulisi pohjavesimuodostumat rajata omiksi pohjavesialueiksi. Tällöin myös muilla Pohjois-Suomen

pohjavesialueilla, joilla pohjavesialueen raja perustuu jokiuomista havaittuihin tiiviisiin maakerrokseen, olisi oleellista hankkia tutkimustietoa näiden tiiviiden maakerrosten horisontaali- ja vertikaaliulottuvuuksista. Tällaisilla alueilla tulisi selvittää lisätutkimuksen ulottuvatko pinnassa havaitut savi- ja silttikerrokset todella niin syväälle, että ne erottavat jokiuoman eripuolin olevat vesimassat, eli pohjavesimuodostumat toisistaan. Tämän tutkielman tulosten perusteella on syytä epäillä, että monella alueella eivät ulotu.

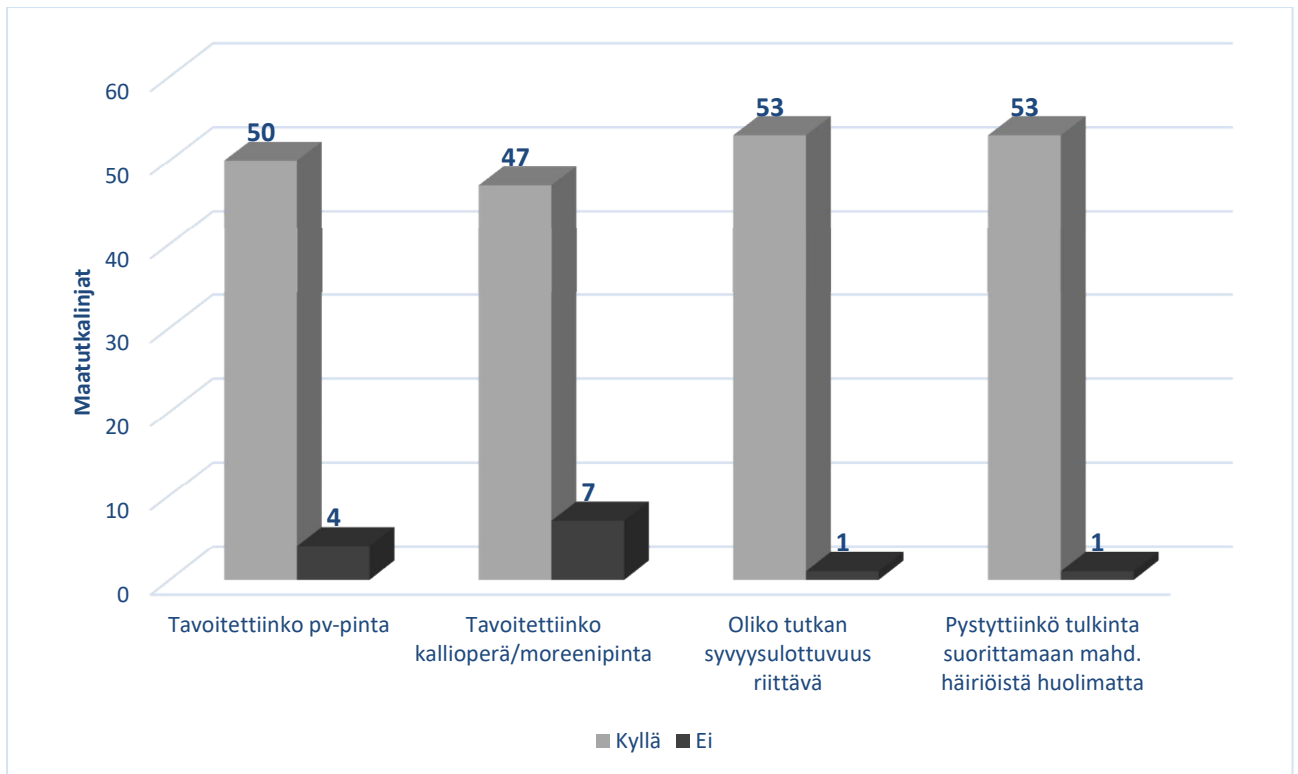
Tutkielman luonnontieteellisiä havaintoja voidaan myös pohtia yhdessä lainsäädännön ja ohjeistusten muodostaman kokonaisuuden kanssa maamme mittakaavalla. Tutkielma osoitti, että vanhojen (1980-1990 –lukujen) pohjavesialueiden rajausperusteiden ja käytäntöjen aikana pohjavesialueita on rajattu nykyisestä poikkeavin tavoittein ja perustein. Tällöin myös muualla Suomessa pinnalta jokiuomien tai vain muutoin hienoainesten halkomia pohjavesialueita on voitu rajata nykykäytännöstä poikkeavin perustein erillisiksi pohjavesialueiksi. Käynnissä olleet pohjavesialueiden uudelleenrajaukset ja -tarkastelut pureutuvat varmasti ohjeistusten ja lainsäädännön myötä tarkasti juuri tämän kaltaisiin pohjavesialuekokonaisuuksiin.

6.3 Maatutkaluotausten käyttökelpoisuus tutkimusmenetelmänä

Maatutkaluotaukset osoittautuivat käyttökelpoiseksi menetelmäksi niin jokiuomien hienoaineskerrosten selvittämisen, kuin tutkimusalueiden geomorfologisen rakennetulkinnan kannalta. Menetelmän onnistuminen tutkimusaineistojen tuottamisessa perustui luotausten kykyyn tuottaa kokonaiskuva tutkimusalueista niiden laaja-alaisen syntyhistorian ja geomorfologisten rakenteiden tulkinnan kautta.

Esimerkiksi Posion ja Kolarin kohteet olivat hyviä esimerkkejä siitä, kuinka maatutkaluotauksella selvennettiin tutkimusalueiden geomorfologisia olosuhteita ja kokonaisuuksia kyseisten kohteiden geomorfologisen rakennetulkinnan luoman käsityksen kautta. Posion ja Kolarin muodostumien sisältä löytyi muiden maa-ainesten peittämiä harjuja ja sulamisvesiuomia, joita esimerkiksi varjostetun korkeusmallin kautta ei alueilta olisi havainnut. Geomorfologisen rakennetulkinnan kautta Kolarin ja Pellon tutkimusalueilla havaittiin, että jokiuomat eivät olleet nykyisten jokien kuluttamia, vaan jäätiköiden sulamisvesien aikaansaamia.

Maatutkaluotausten onnistumista arvioitiin jo alueittain tutkimuksen tuloksissa. Kuva 43 yhdistää linjoilla tehdyt havainnot maatutkaluotauksen onnistumista kuvaavista keskeisistä piirteistä. Kaavio kuvaa maatutkaluotauksen soveltuvuutta jokiuomien hienoaineskerrosten selvittämiseksi.



Kuva 43. Numeerinen yhteenveto maatutkaluotauksen menetelmällisestä soveltuvuudesta. Diagrammin neljä muuttujaa kuvaavat maatutkaluotausaineistojen hyödyntämisen kannalta keskeisiä tekijöitä. Kaikki 54 tutkimuksen aineistoihin kuulunutta maatutkaluotauslinjaa arvoiteltiin vastaamalla kunkin linjan kohdalta ”kyllä” tai ”ei” neljään keskeiseen kysymykseen.

Valitsin tarkasteluun ensinnäkin pohjaveden pinnan tavoittamisen, sillä pohjaveden pinnan tulkinta on aivan keskeisessä asemassa pohjavesimuodostumien hydrologisten piirteiden tutkimisen kannalta. Toiseksi tarkasteluun valitsin kallioperän/moreenipinnan tavoittamisen. Tämä on oleellista pohjavesigeologisissa tutkimuksissa kyseisen vettä johtamattoman pohjan muotojen hahmottamiseksi, sillä esimerkiksi kalliokynnykset voivat jakaa pohjavesialueita hydrologisen yhteyden katkaisemalla. Kallioperän tai pohjan moreenipinnan löytyminen myös viestii siitä, että profiilin syvyyssulottuvuus tavoitti kaikki pohjavesigeologisesti olennaiset vettä johtavat kerrokset.

Kolmantena tarkastelin tutkan signaalin syvyyssulottuvuuden riittävyttä tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Tutkimuskysymyksenä tältä osin oli jokiuomien hienoaineskerrosten selvittäminen, jota tutkittaessa olisi myös syytä hallita tutkimusalueen kokonaiskuva. Toisin sanoen tässä kohdassa arvioin tutkan syvyyssulottuvuuden lisäksi profiilin tarkkuuden riittävyttä jokiuomien maakerrosten ja kokonaiskuvan selvittämiseksi. Neljäntenä tarkastelussa kiinnitettiin huomiota kaikkiin tutkaan aiheutuneisiin häiriöihin, eli esimerkiksi suolaukseen ja ihmisen maaperään ja sen pinnalle aiheuttamiin rakenteellisiin häiriöihin. Keskeistä ei siis ole se oliko profiileilla häiriöitä, vaan pystytäänkö profiilin tulkinta suorittamaan mahdollisista häiriöistä huolimatta.

Pohjaveden pinta tavoitettiin profiileilta luotettavasti 50:neltä linjalta, neljällä linjalla pohjaveden pinnan tulkinta sisälsi tulkinnanvaraisuuksia eli epävarmuustekijöitä, taikka pohjaveden pinta oli niin syvällä, ettei luotaimen signaali sitä tavoittanut. Tutkielman perusteella Pohjois-Suomessa pohjaveden pinta tavoitetaan maatutkaluotausprofiileilta lähes säännönmukaisesti. Kallioperä tai paikoitellen kalliota peittävä moreeni tavoitettiin 47:mällä alueella, seitsemällä puolestaan ei. Useimmiten profiileilta tavoitetaan siis myös kallioperä tai sitä peittävä moreeni. Kaikilla tutkimusalueilla savikerrokset pystyttiin todentamaan ohuiksi. Kun nämä tiiviit maakerrokset olivat ohuita, ei tutkasignaali katkennut tai menettänyt ratkaisevasti läpäisevyyttään näihin kerroksiin, vaan tutka antoi myös usein suhteellisen tarkkaa tietoa savien alapuolisten maakerrosten rakenteista.

Kolmannessa kategoriassa havaittiin, että peräti 53:mella linjalla 54:jästä tutkan syvyysulottuvuus oli jokiuomien hienoaineskerrosten tarkastelun ja rakennetulkinnan kannalta riittävä. Tämä on olennaista havaita, sillä tutkan vertikaaliulottuvuutta usein kritisoidaan menetelmän käyttöä rajoittavana tekijänä. Teoreettisesti näin toki on, mutta käytännössä tutkielma osoitti, että Pohjois-Suomessa maatutkalla voidaan tavanomaisesti tavoittaa niin pinnan savikerrokset, kuin pohjan olennaiset moreenikerrokset tai kallioperän kummut ja kynnykset, mikäli maanpinnassa ei vain ole paksuja savikerroksia. Tutkimusalueiden jokiuomista ei havaittu ainoatakaan paksua savi- tai silttikerrosta, mikä jättää tulkinnanvaraiseksi sen, miten maatutkaluotaus toimisi alueilla, joilla tällaisia paksuja savi- tai silttikerroksia olisi. Tässä suhteessa tutkimusalueet olivat maatutkaluotaukselle otollisia. Viimeinen tarkastelun alla ollut kategoria oli mahdollisten häiriöiden vaikutus profiilien tulkintaan. Ainoastaan Kolarin Äkäsjoen tiellä, Ojalan kylän kohdalla, kesäsuolaus teki kyseisen F10 linjan tulkinnasta hyvin hankalaa, muilla linjoilla profiilien tulkinta pystyttiin suorittamaan paikallisista häiriöistä huolimatta.

Maatutkaluotauksen tuottamien aineistojen laajuus oli tutkimuksen valossa huomattavasti kairausten pistemäistä tietoa kattavampaa, sillä maatutkaluotaukset toivat merkittävästi uutta tietoa tutkimusalueiden geomorfologisista rakenteista ja hydrogeologisista oloista pelkkiin kairauksiin perustuneisiin näkemyksiin verrattuna. Esimerkiksi Pellon ja Posion tutkimusalueilla kokonaiskuvan muodostaminen tutkimusalueista oli vaikeaa ennen maatutkaluotauksia, vaikka alueilla oli suoritettu suhteellisen runsaasti maaperäkairauksia.

Maatutkaluotausten myötä myös kairauksille ominainen sattuman rooli vähenee, sillä pelkkien kairausten varassa ollessa esimerkiksi kalliokynnysten, tai vaikkapa hienoaineskerrosten sijaintien hahmottaminen olisi huomattavan vaikeaa. Samoin tulkinnallisten virheiden määrä laskee käytettäessä maatutkaluotausta maaperäkairausten ohella, sillä esimerkiksi piilosuppaan sattuessaan kairaustulos voi johtaa tulkintaa helposti harhaan. Ilman maatutkaluotauksia tutkimuskysymyksiin vastaaminen olisi ollut lähinnä arvelua.

Mikäli olosuhteet ovat maatutkaluotaukselle edes kohtuullisen otolliset, on maatutkaluotaus pätevä menetelmä niin tutkimusalueiden kokonaiskuvan rakentamisen kannalta, kuin

tarkempiinkin tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi tuotettavien aineistojen hankkimiseksi. Maatutkaluotauksen tueksi olisi kuitenkin suotavaa saada edes muutama maaperäkairauspiste, jotka referenssitietona auttavat huomattavasti luotausprofiilien tulkinassa.

7. Johtopäätökset

- Pohjois-Suomen glasiifluviaalisten jokiuomien kohdin havaitut savi- ja silttikerrokset ovat ohuita, eivätkä näin ollen toimi pohjavesialueiden rajauserusteina.
- Tämän tutkielman valossa ELY-keskuksen toimesta Rovaniemen ja Pellon tutkimusalueilla suoritettujen pohjavesialueiden yhdistämiset ovat hydrogeologisesti oikea ratkaisu. Posion ja Kolarin tutkimusalueilla jokiuomat eivät ole luonnontieteellisesti pitävä pohjavesialueiden rajauseruste, eli pohjavesialueiden yhdistäminen olisi hydrogeologisesti perusteltua.
- Maatutkaluotauksella pystytään tuottamaan käyttökelpoinen aineisto niin tutkimusalueiden kokonaistulkinnan kannalta, kuin jokiuomien maaperien tiiviiden maakerrosten syvyyssulottuvuuksien tarkistamiseksi. Kairauspisteet referenssiaineistoina helpottavat tulkintaa olennaisesti.
- Alueilla joilla ei ole paksuja (yli kolme metriä) savi- tai silttikerroksia voidaan maatutkaluotauksin tuottaa laadukkaita ja pohjavesialueiden rajaustutkimusten kannalta ratkaisevia aineistoja, vaikka maakerrokset olisivat suhteellisen paksuja (10-40m). Vaatimuksena on se, ettei pohjaveden pinta ole jatkuvasti tutkimusalueella yli 15-20m syvyydellä maanpinnasta.
- Pohjavesialueet tulee rajata nykyisen ohjeistuksen mukaan hydrogeologisina kokonaisuuksina, joka vastaa voimassaolevan (6.3.2019) pohjavesiä koskevan lainsäädännön tavoitteita.

Kiitokset

Kiitokset tutkielman yhteistyötahona toimineelle Lapin ELY-keskukselle ja etenkin Anne Lindholmille. Lämpimät kiitokset työn ohjaajalle Joni Mäkiselle (FT), joka oli etenkin maatutkaluotausprofiilien tulkinnassa korvaamaton apu. Kiitokset GTK:n henkilöstöstä Juho Kupilalle, Miikka Paalijärvelle ja Juha Davidilalle, jotka auttoivat tahoillaan maatutkaluotausaineistojen hankinnassa, sekä Juha Majaniemelle, joka käänsi maatutkaluotausraakadatoja käyttökelpoiseen kuvamuotoon. Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä haluan kiittää Pellon maatutkaluotausten rahoittamisesta. Kiitokset myös Turun yliopiston Maantieteen laitokselle rahoituksesta Posion ja Kolarin maatutkaluotausaineistojen käsittelemiseksi.

Kirjallisuus

- Aartolahti, T. & Tikkanen, M. (2011). *Suomen geomorfologia*. Geotieteiden ja maantieteen laitoksen opetusmonisteita. 1. Unigrafia, Helsinki. 275 s.
- Appelqvist, S. Lindholm, A. Nenonen, N. Nurmi, H. Sallasmaa, O. Vänskä, M. (2015). Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen Pirkanmaalla 2012-2015. *Pirkanmaan POSKI-hanke*. Pirkanmaan liitto 2015. 306 s.
- Britschgi, R. (2018a) *Haja-asutuksen jätevesineuvojen koulutusohjelma 7.5.2018*. SYKE, KTK. Pohjavesialueen määrittäminen –rajaus ja luokitus.
- Britschgi, R. (2018b) Geologinen kokonaisuus. Henkilökohtainen sähköpostiviesti Heikki Saloselle. 11.4.2018
- Britschgi, R. Rintala, J. & Puharinen, S-T. (2018c). Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelmien laadintaan. *Ympäristöhallinnan ohjeita 3/2018*. Ympäristöministeriö. 145 s.
- Britschgi, R. (2017). Mitä uusi pohjavesialue luokitus merkitsee? Seinäjoki 16.5.2017, *Pohjavesityöpaja*.
- Britschgi, R. & Rintala, J. (2016). *Pohjavesialueet –määrittäminen, luokitus ja suojelusuunnitelmat*. Luonnos 29.11.2016, Ympäristöministeriö. 124 s.
- Britschgi, R. Antikainen, M. Ekholm-Peltonen, M. Hyvärinen. V. Nylander, E. Siiro, P. Suomela, T. (2009). *Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus*. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 2009. Helsinki. 78 s.
- Doolittle, J.A., Jenkison, B. Hopkins, D. Ulmer, M. Tuttle, W. (2006) Hydropedological investigations with ground-penetrating radar (GPR): Estimating water-table depths and local ground-water flow pattern in areas of coarse-textured soils. *Geoderma* 131 (2006) 317–329.
- Euroopan komissio (2008). Pohjaveden suojelu Euroopassa. Uusi pohjavesidirektiivi – vahvistamassa EU:n lainsäädännön puitteita. *Euroopan komissio, Ympäristöosasto*. Bryssel. 36 s.
- GTK (2019). Maankamara -palvelu. Kuvat haettu 5.3.2019. <<http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>>
- GTK (2017a). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Posio (pv-alue 12614122, 12614121, 12614117A, 12614119, 12614118B ja 12614118A). 2s. +liitteet
- GTK (2017b). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Hannukainen, Kolari (pv-alue 12273126A ja pv-alue 12273126B). 2s. +liitteet.
- GTK (2017c). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Hete-Utsakka, Poojoki ja Särkijärvi Rovaniemi (pv-alue 12699221, 12699220 ja 12699502). 1s. +liitteet

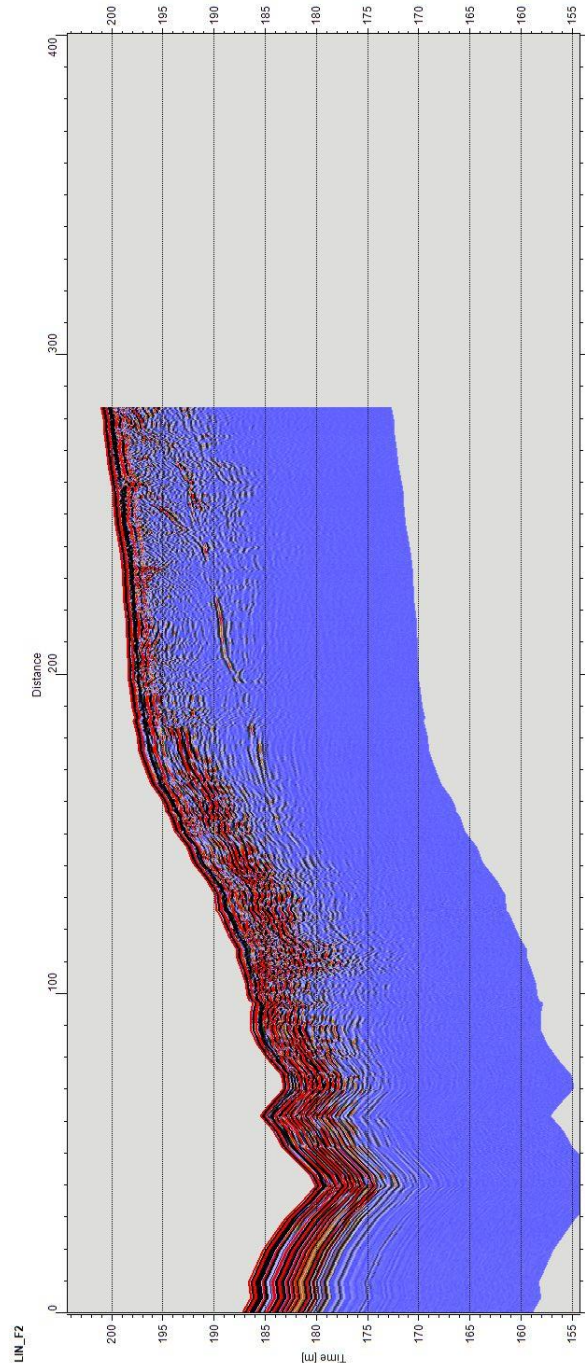
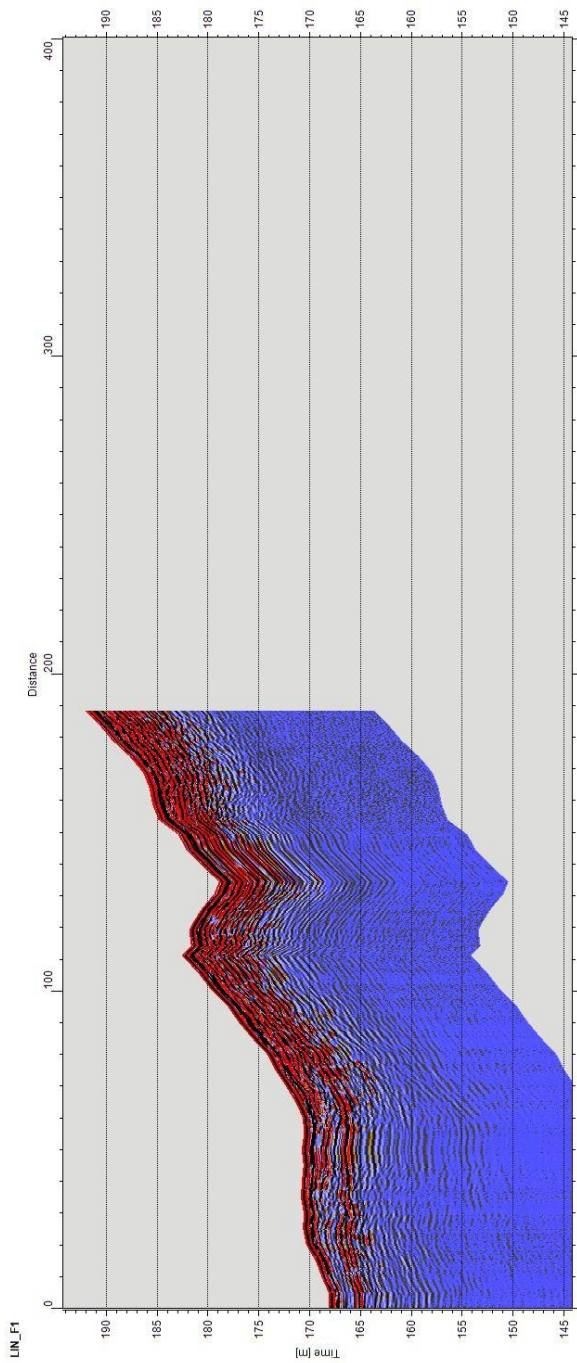
- GTK (2017d). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Posion maatutkaluotaukset.
- GTK (2017e). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Kolarin maatutkaluotaukset.
- GTK (2017f). *POSKI2 Lapin maa- ja kalliokiviainesselvitys, vaihe 2*. 2016-2019. Hete-Utsakan maatutkaluotaukset.
- GTK (2016). Maatutkaluotaus. Tieto internetsivulta 24.1.2019.
<<http://projects.gtk.fi/esakihu/tutkimus/maatutkaluotaus.html> >
- Gustafsson, J. (2015). *Perustelumistio*. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. Luonnos. Ympäristöministeriö, 17.12.2015. 9 s.
- Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. (2007). *Maaperäkartan käyttöopas*. 20.6.2017, Espoo. Geologian tutkimuskeskus. 66 s.
- Hanski, M. Britschgi, R. Frima, T. Leino, J. Mäkinen, M. Palmu, J-P. Poutiainen, J. Pullola, T. Päätaalo, P. Siiro, P. Vänskä, M. (2010) Selvitys pohjavesialueiden rajaamismenettelystä. Loppuraportti. *Suomen ympäristö 7/2010*. Ympäristöministeriö. 208 s.
- Hirvas, H., 1991. Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 354. GTK, Espoo. 130 s.
- Husa, J. & Teeriaho, J. (2015). Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet Lapissa. *Suomen ympäristö. 6/2015*. Ympäristöministeriö, Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 363 s.
- Hänninen, P. (1991). Maatutkaluotaus maaperägeologisissa tutkimuksissa. *Tutkimusraportti 103*. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 38 s.
- Johansson, P. Lunkka, J. & P. Sarala, P. (2011). The Glaciation of Finland. *Geological Survey of Finland, Vol. 15*. Rovaniemi, Finland. 12 s.
- Johansson, P. (2007). Late Weichselian deglaciation in Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 46, 47-54
- Johansson, P. Kujansuu, R. Erikson, B. Grönlund, T. Kejonen, A. Maunu, M. Mäkinen, K. Saarnisto, M. Virtanen, K. & Väisänen, U. (2005). *Pohjois-Suomen maaperä*. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 236 s.
- Johansson, P. (1995). The deglaciation in the eastern part of the Weichselian ice divide in Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Rovaniemi*. 74 s.
- Johnson, W. H. & Menzies, J. (2002) *Modern and Past Glacial Environments*. Butterworth-Heinemann. 576 s.

- Korsman, K. & Koistinen, T. (1998). Suomen kallioperän yleispiirteet. In Lehtinen M, P Nurmi & T Rämö (eds). Suomen kallioperä - 3000 vuosimiljoonaa. *Geological Society of Finland & Gummerus*, Jyväskylä. 95-103
- Kujansuu, R., 1972. Interstadiaalikerrostuma Vuotsossa. Summary: Interstadial deposit at Vuotso, Finnish Lapland. *Geologi 24 (5-6)*, 53-56
- Laki merenhoidon ja vesienhoidon järjestämisestä (2004/1299). 1.2.2019. <www.finlex.fi>
- Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain muuttamisesta (1263/2014). 1.2.2019. <www.finlex.fi>
- Lapin ELY-keskus. (2019). *Pohjavesialueiden luokitteluun liittyvä selvitys*, POSIO. 14.1.2019. 103 s.
- Lapin ELY-keskus. (2018). ROVANIEMI, *Pohjavesialueiden luokitteluun liittyvä selvitys*. Dnro LAPEÖY/3478/2015. 98 s.
- Lindholm, A. (2019). Äkäsjoen pölyntorjunta. Henkilökohtainen sähköpostiviesti Heikki Saloselle. 7.2.2019. Lapin ELY-keskus.
- Lunkka, J-P. Johansson, P. Saarnisto, M. & Sallasmaa, O. (2004). Glaciation of Finland. *Geological Survey of Finland*. Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Editors J. Ehlers & P.L. Gibbard. 5 s.
- Maanmittauslaitos (2017). Hallintorajat. 1:1000 000, ETRS-TM35FIN. Ladattu PaITulista 1.3.2019. <<https://avaa.tdata.fi/web/paituli/latauspalvelu>>
- Maanmittauslaitos (2015). Maastokartta. 1:100 000, ETRS-TM35FIN. Ladattu PaITulista 24.10.2018. <<https://avaa.tdata.fi/web/paituli/latauspalvelu>>
- Mäkinen, J. (2019). Ehjä kallio havaitaan profiileilta... Henkilökohtainen sähköpostiviesti Heikki Saloselle. 19.2.2019.
- Mäkinen, J. (2018). Pohjaveden pinnan heijasteen. Suullinen tiedonanto. 16.11.2018
- Mäkinen, J. (2016a). Huonoimmassa tapauksessa. Suullinen tiedonanto. 1.4.2016
- Mäkinen, J. (2016b). Lampien ja järvien pinnoista. Suullinen tiedonanto. 26.9.2016
- Mäkinen, J. (2016c). Teiden suolaus. Suullinen tiedonanto. 19.4.2016
- Mälkki, E. (1998). *Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö*. Helsinki, Tammi. 304 s.
- Määttä, T. & Paso, M. (2019). Johdatus oikeudellisen ratkaisun teoriaan. *Helsingin yliopiston oikeustieteellisen tiedekunnan julkaisuja*. Unigrafia Oy, Helsinki 2019. 102 s.
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science reviews 66*. School of applied sciences, University on Wolverhampton. 261-330 s.
- Pellon arvokkaat harjualueet (s.a.). 24 s.

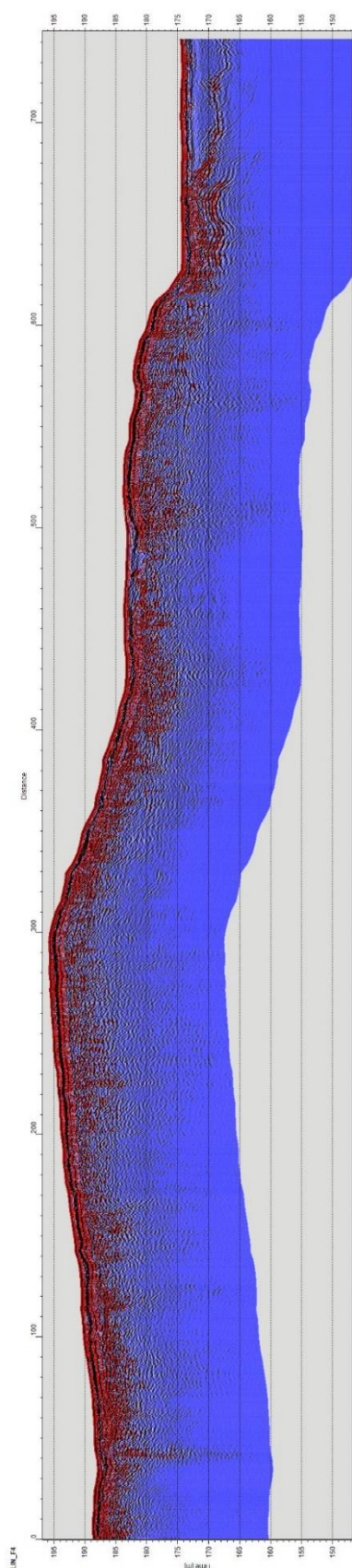
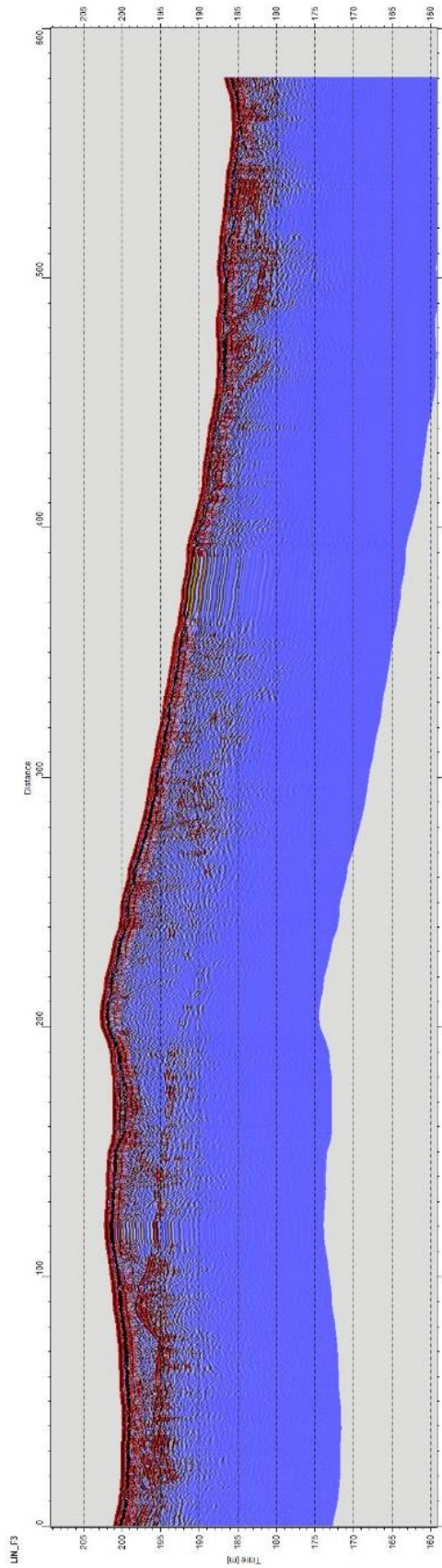
- Pohjavesitietokanta POVET. <<https://www2.ymparisto.fi/scripts/hearts/welcome.asp>>
- Pohjavesitutkimus (1986). Pellon kunta, *Lapin vesi- ja ympäristöpiiri*. Tutkimukset suoritettiin 1.9.1985- 6.3.1986. 13 s.
- Pohjavesitutkimus (1979). Pellon kunta, *Lapin vesipiirin vesitoimisto*. 13 s.
- Posion pohjavesitutkimukset (1992). 8 s.
- Rintala, J. (2017). Pohjavesialueen raja. Suomen ympäristökeskus. *Haja-asutuksen jätevesineuvojen koulutusohjelma*. 7.4.2017 Helsinki.
- Salonen, V-P. Eronen, M. & Saarnisto, M. (2002). *Käytännön maaperägeologia*. Kirja-Aurora, Turku. Otavan kirjapaino Oy. 237 s.
- Shreve, R. L. (1972). Movement of water in glaciers. *Journal of Glaciology, Vol. 11, No. 62*, 1972. University of California, Los Angeles, U.S.A. 10 s.
- Soveri, J. Mäkinen, R. & Peltonen, K. (2001). Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975-1999. *Suomen ympäristö, Ympäristönsuojelu*. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki. 386 s.
- Strobach, E. Harris, B. D. Dupuis, J. C. Kepic, A. W. Martin, M. W. (2009). *GPR for large-scale estimation of groundwater recharge distribution*. Dept. of Exploration Geophysics, Curtin University of Technology. Perth, Western Australia. 6 s.
- Tikkanen, M. (2002). The changing landforms of Finland. *Fennia* 180: 1-2, pp. 000-000. Helsinki. ISSN 0015-0010. 10 s.
- Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä (2006/1040). 1.2.2019. <www.finlex.fi>
- Valtioneuvoston asetus vesienhoitoalueista (1303/2004). 1.2.2019. <www.finlex.fi>
- Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (929/2016). 1.2.2019. <www.finlex.fi>
- Vesipuidedirektiivi (2000). *Euroopan Parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY*. 23.9.2000. 72 s.
- Ympäristönsuojelulaki (517/2014). 8.1.2019. <www.finlex.fi>

Liitteet

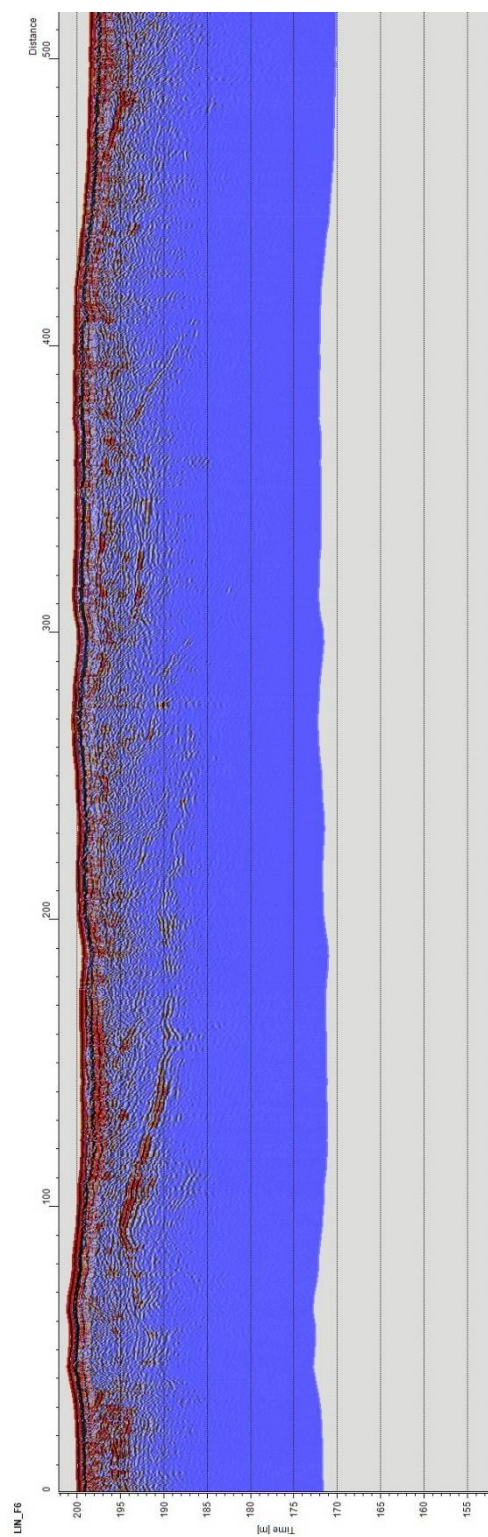
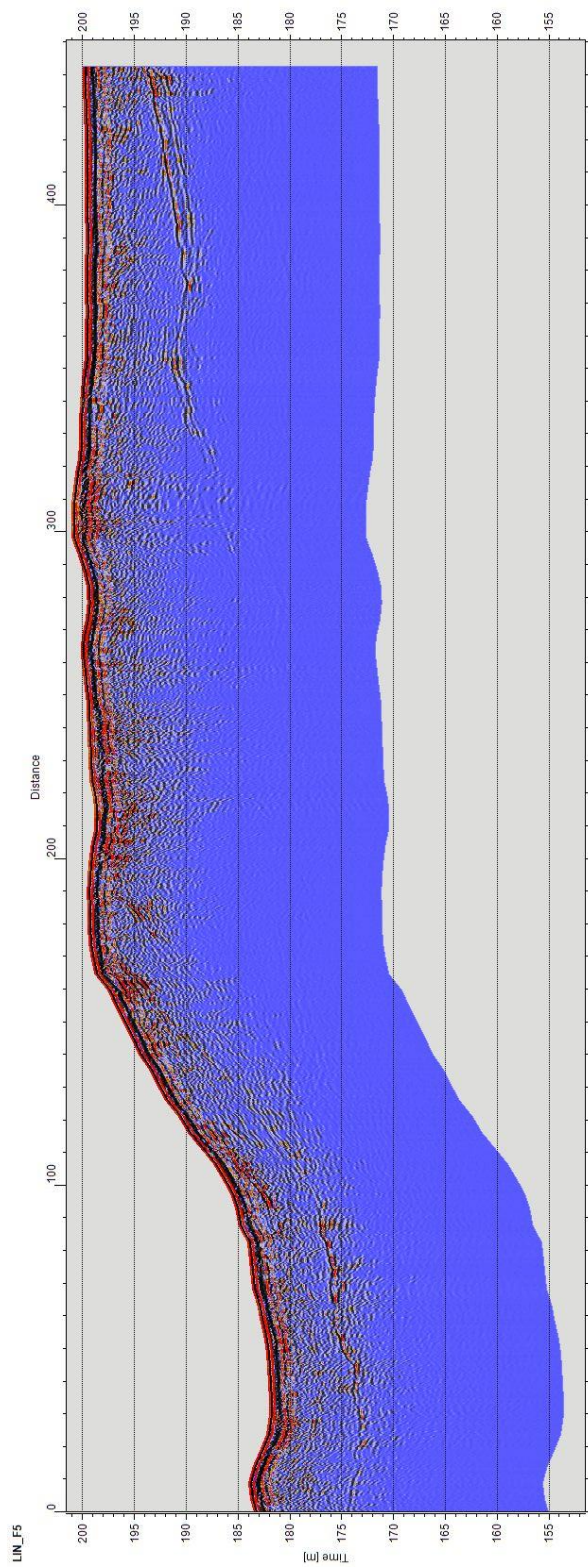
Liitteet 1 & 2: Kolarin kokonaisuuden maatumkalinjat F1 ja F2. Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



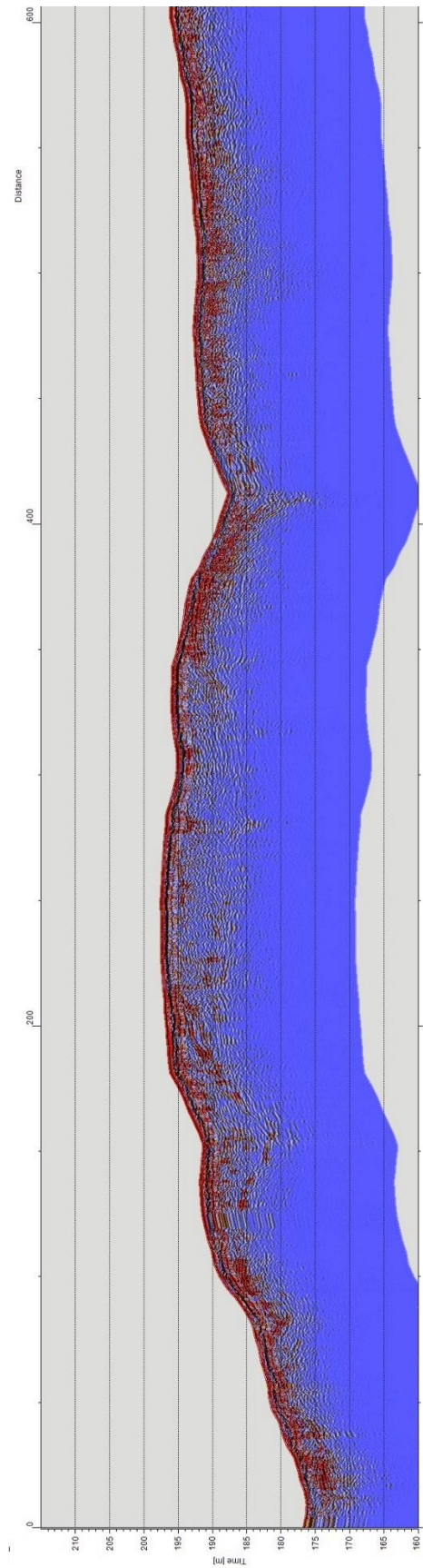
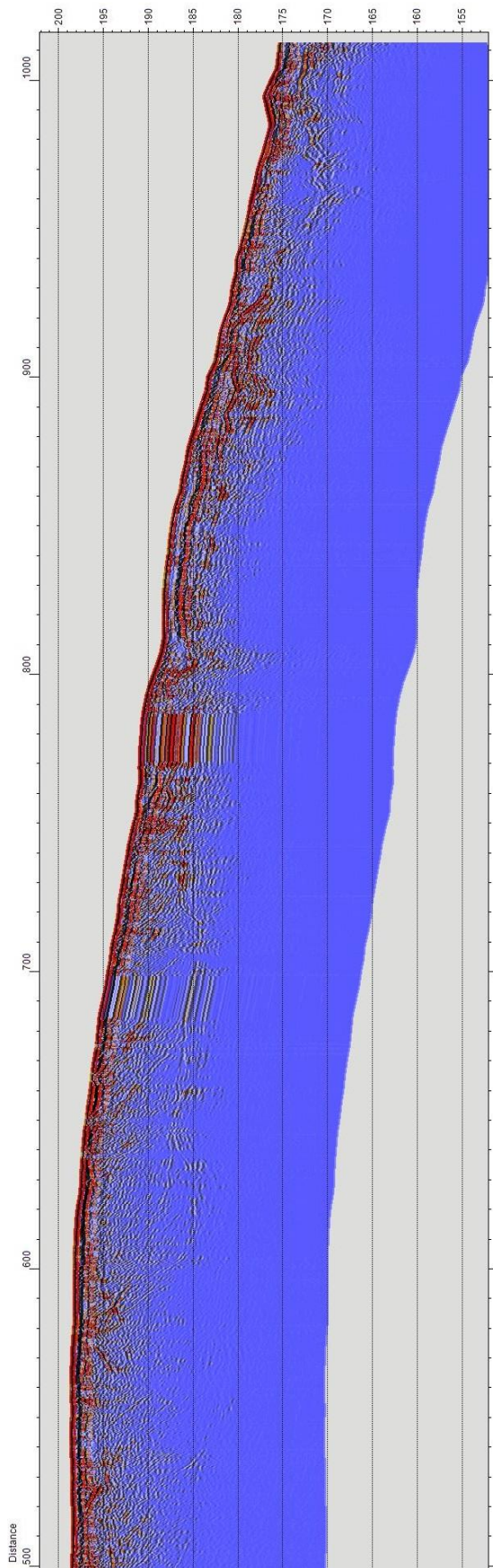
Liitteet 3 & 4. Kolarin kokonaisuuden maatulkuutuslinjat F3 & F4. Maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



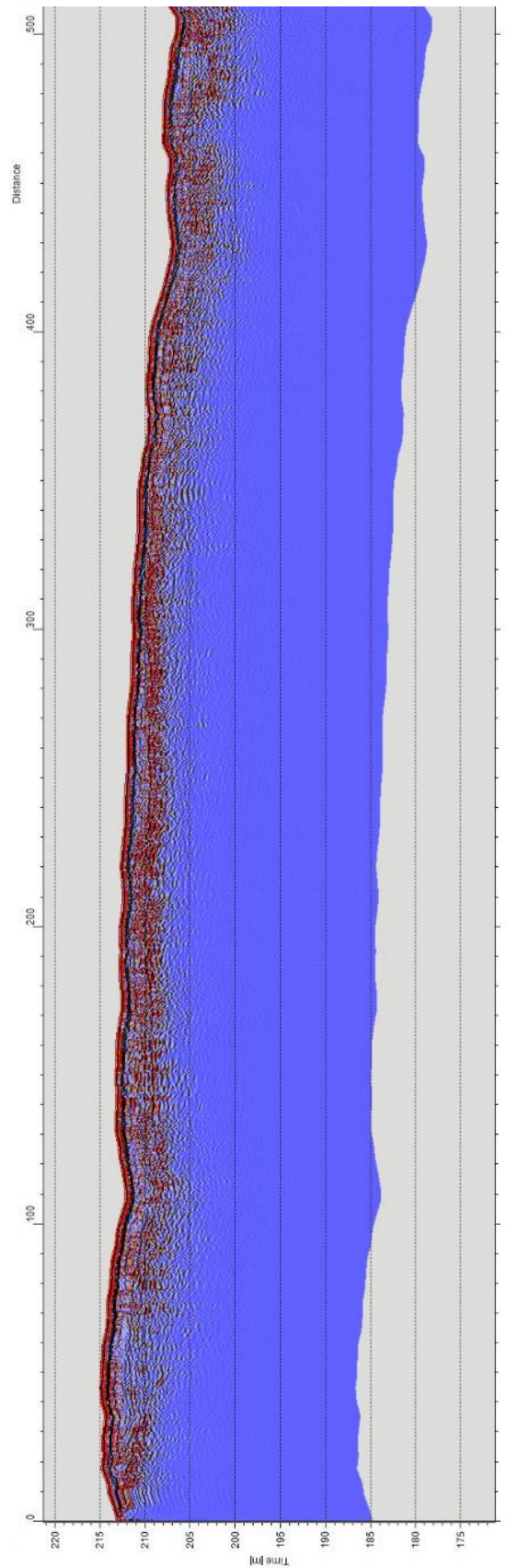
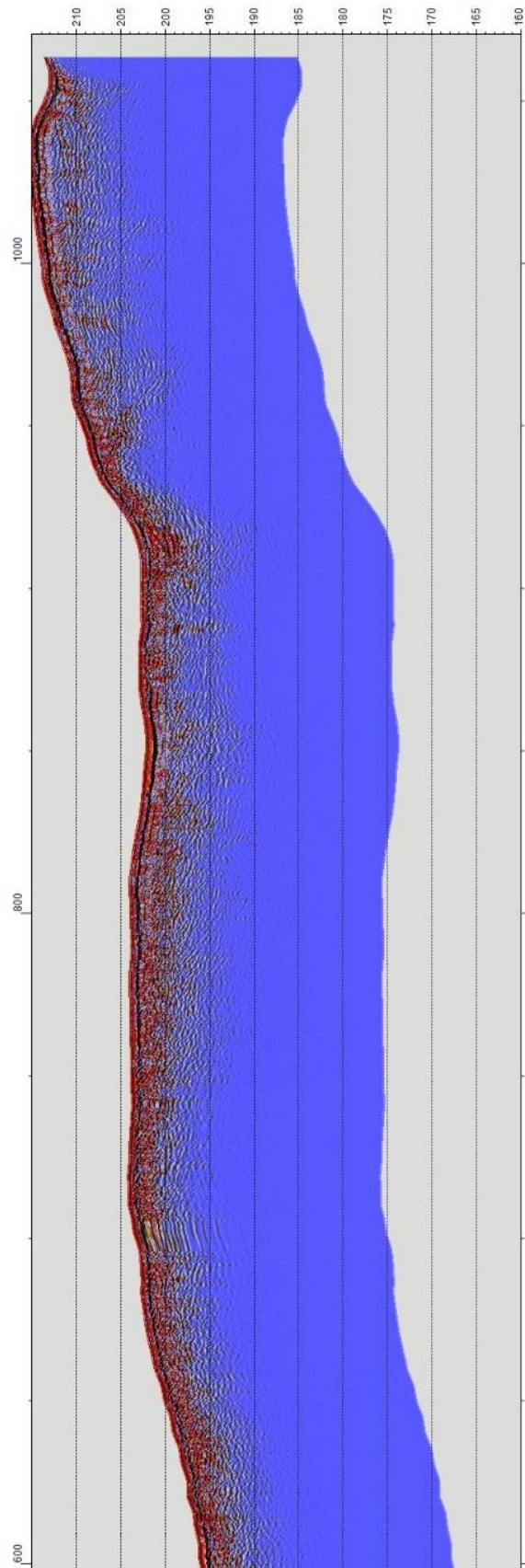
Liitteet 5 & 6: Kolarin tutkimusalueen maatutkaluotauslinjat F5 ja F6 (0-500m).
Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



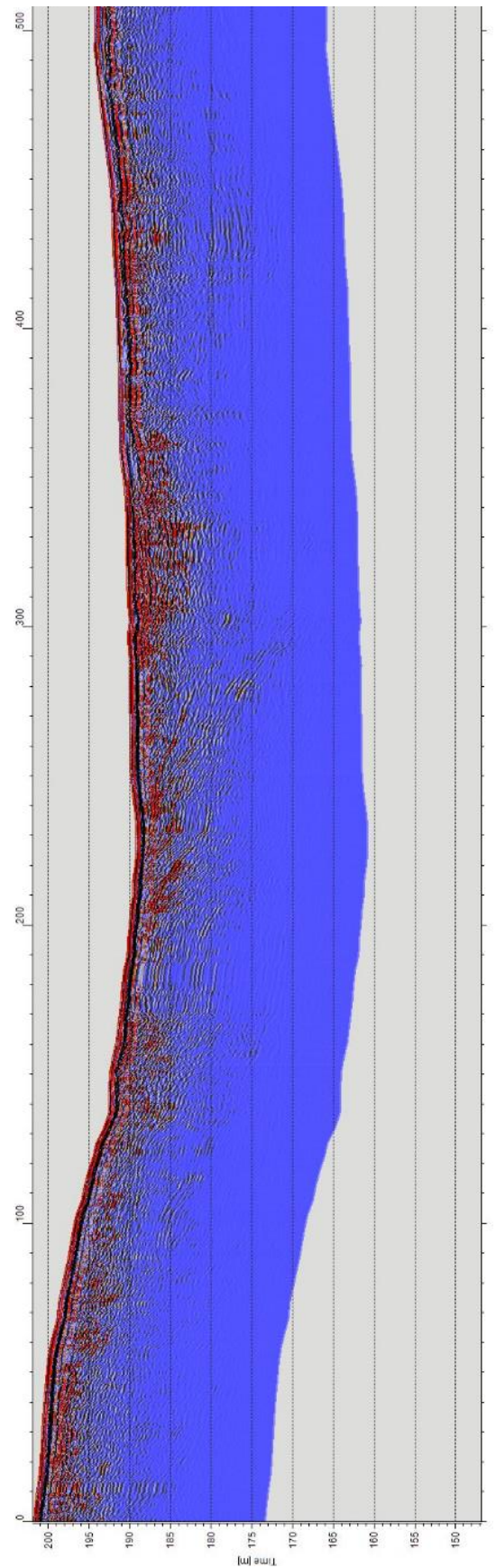
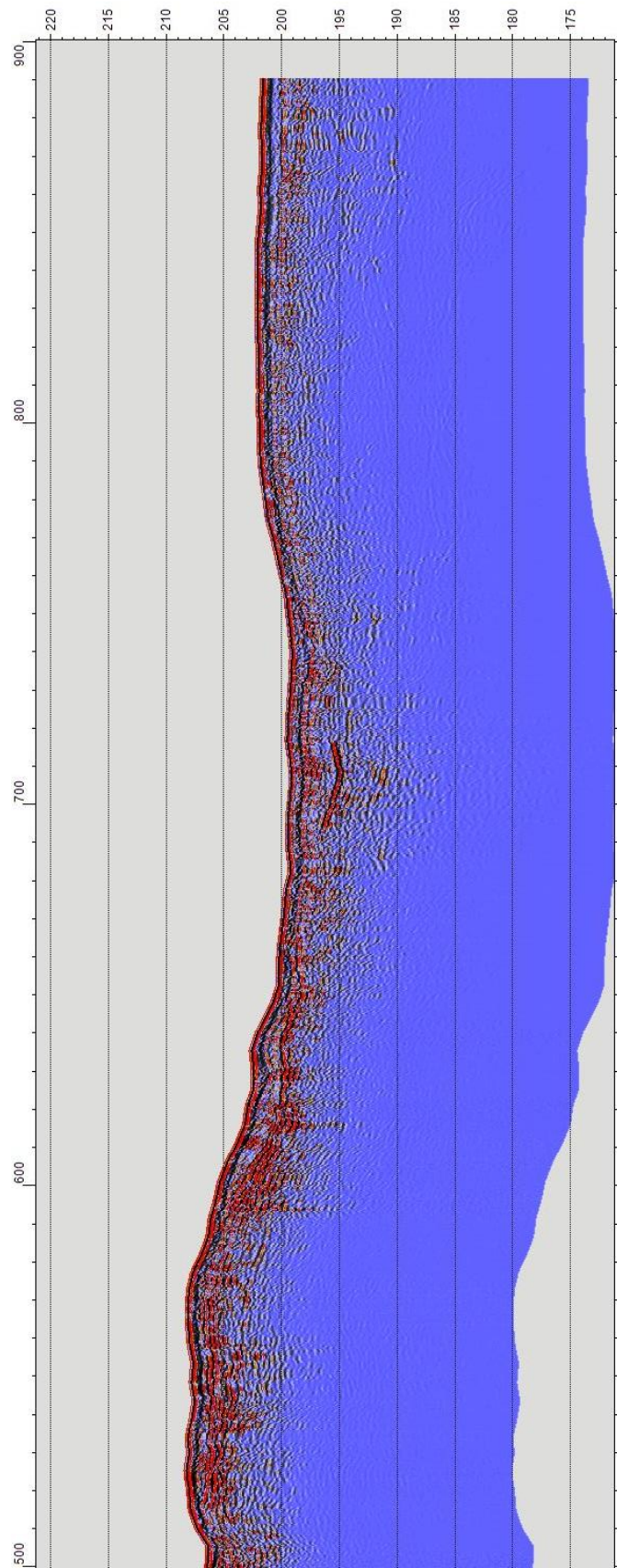
Liitteet 7 & 8: Kolarin tutkimusalueen maatulkuutuslinjat F6 (500-1000m) ja F7 (0-500m), maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



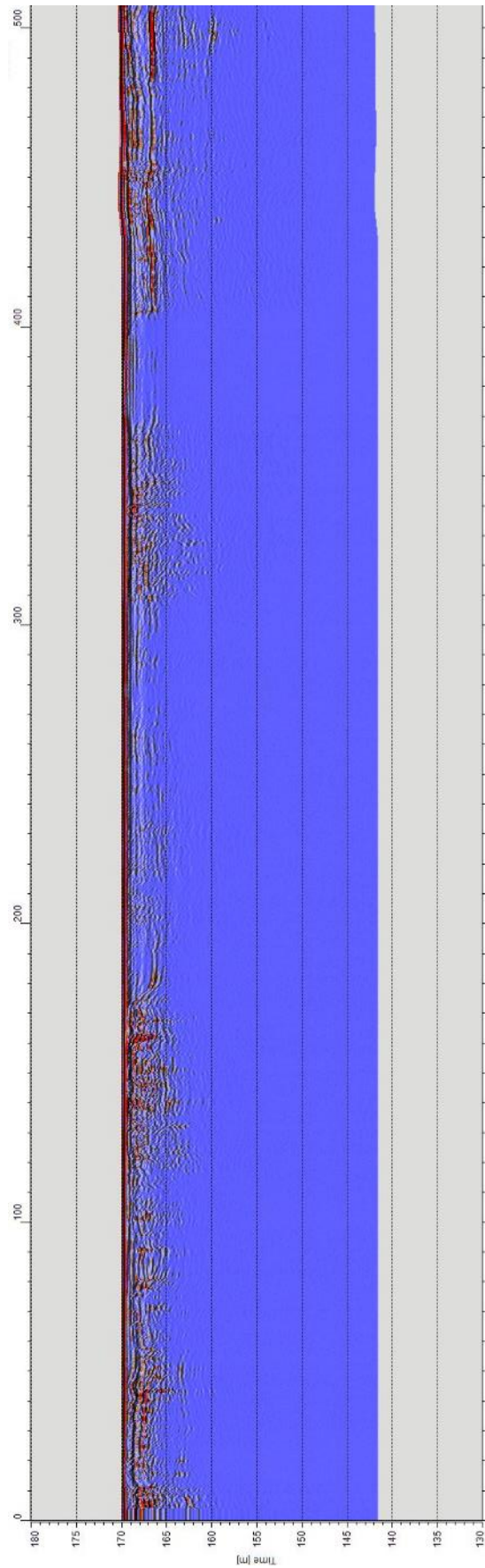
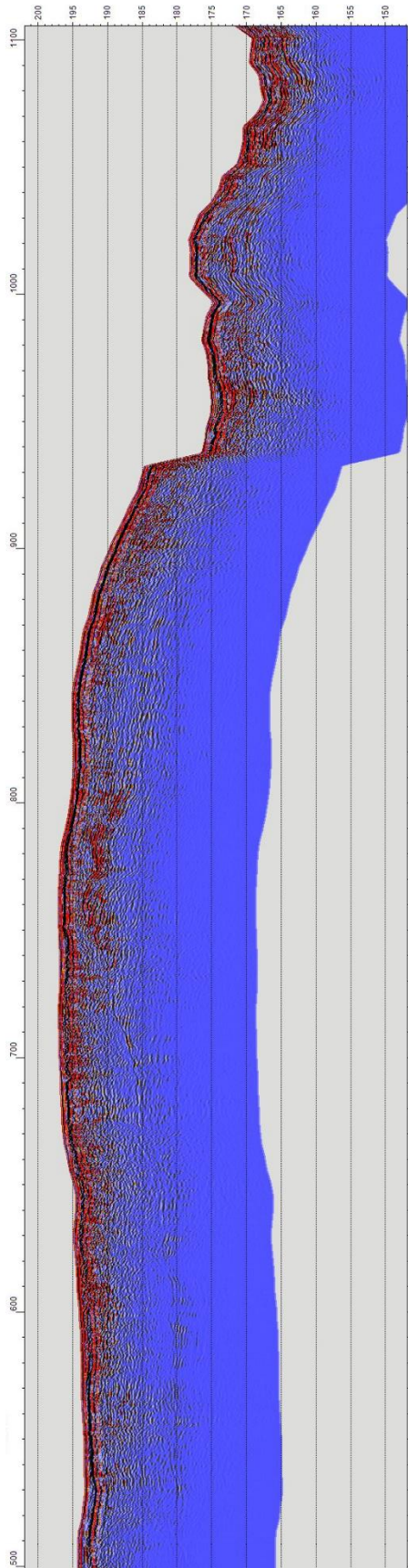
Liitteet 9 & 10: Kolarin tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat F7 (500-100m) ja F8 (0-500), maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



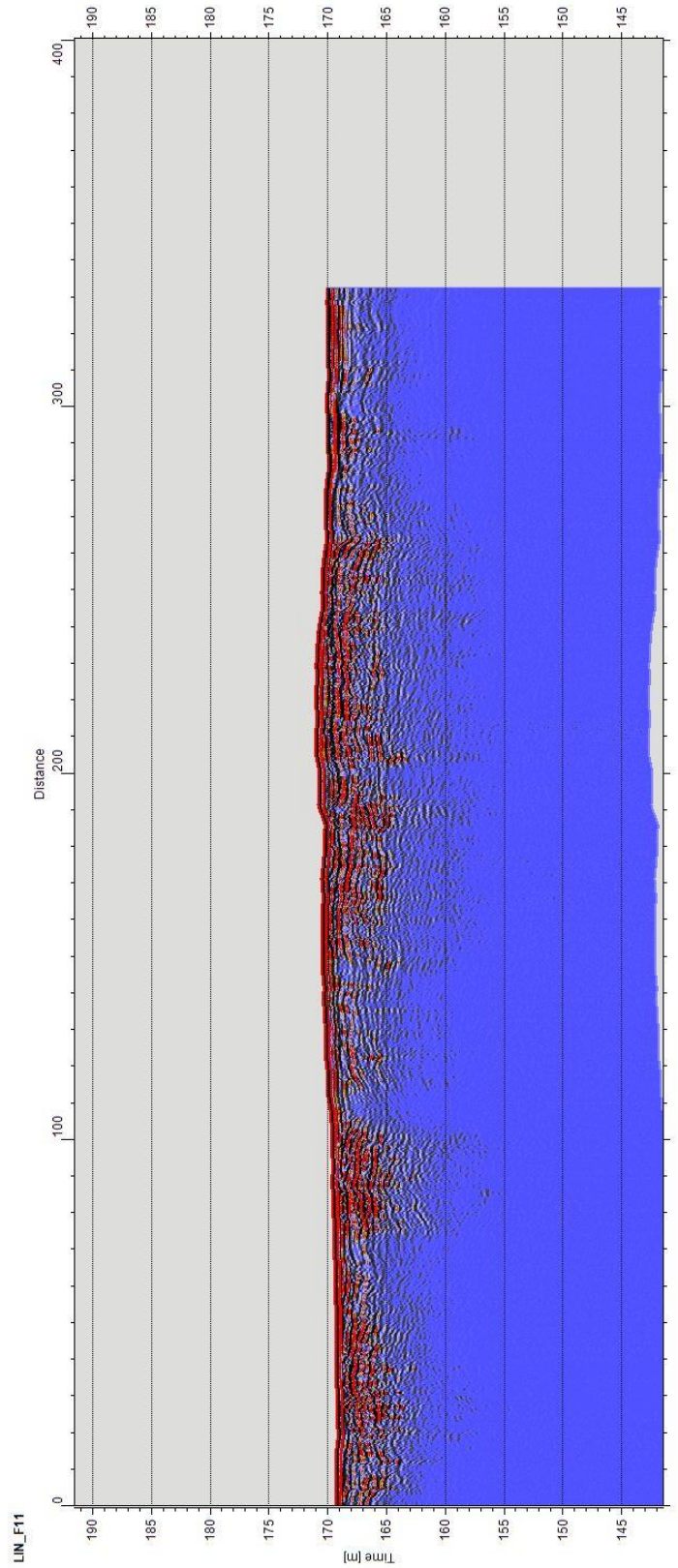
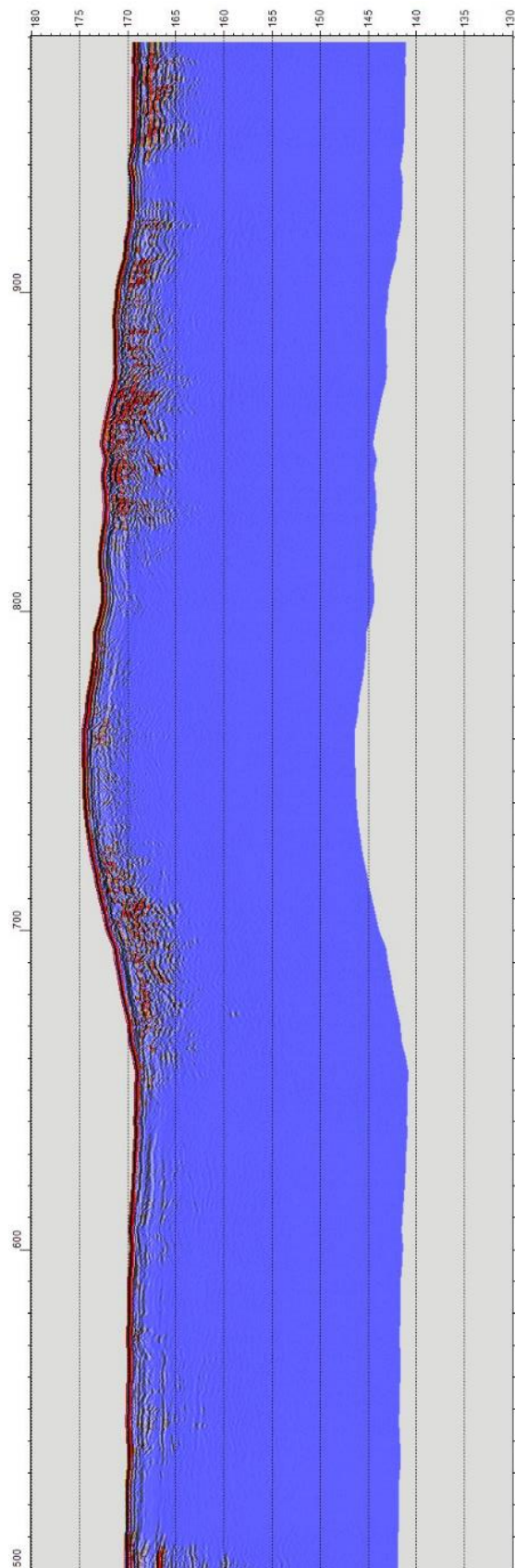
Liitteet 11 & 12: Kolarin tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat F8 (500-100m) ja F9 (0-500m), maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



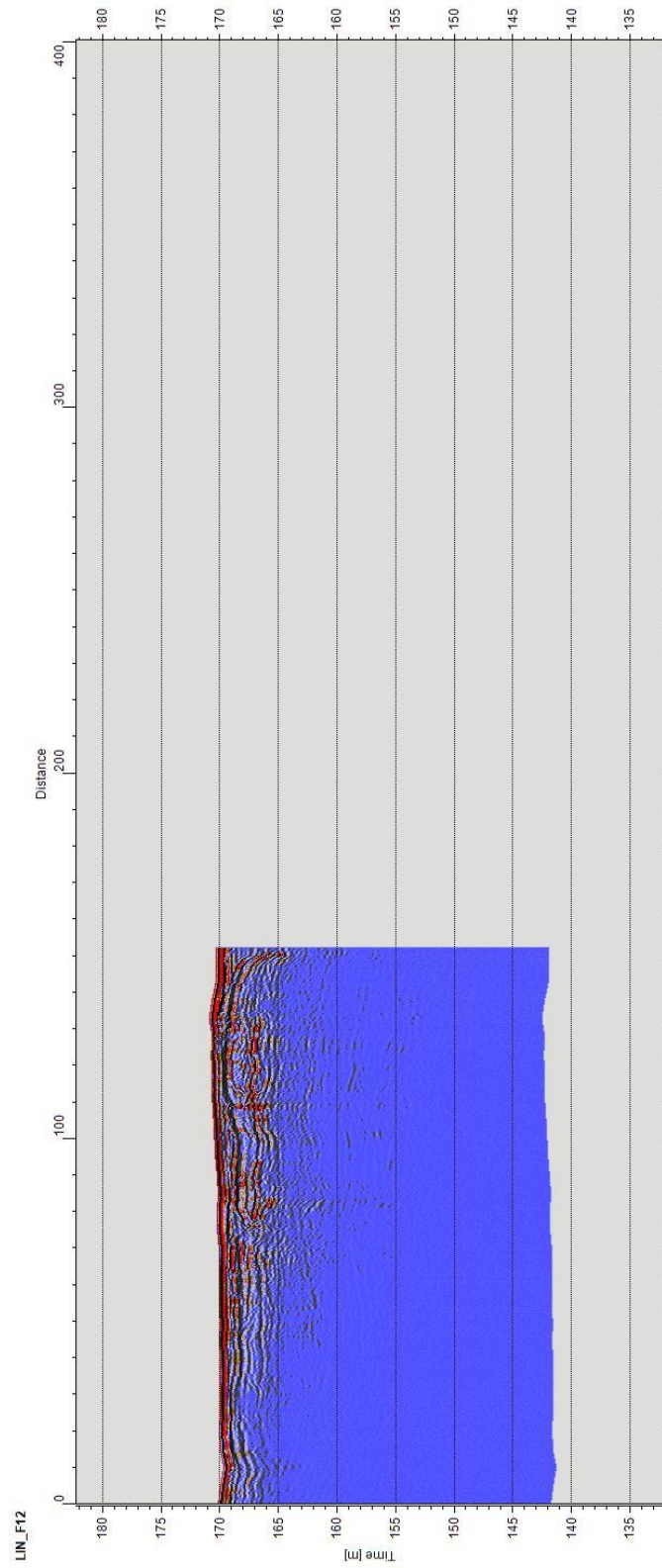
Liitteet 13 & 14: Kolarin tutkimusalueen maatulkuutuslinjat F9 (500-100m) ja F10 (0-500), maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



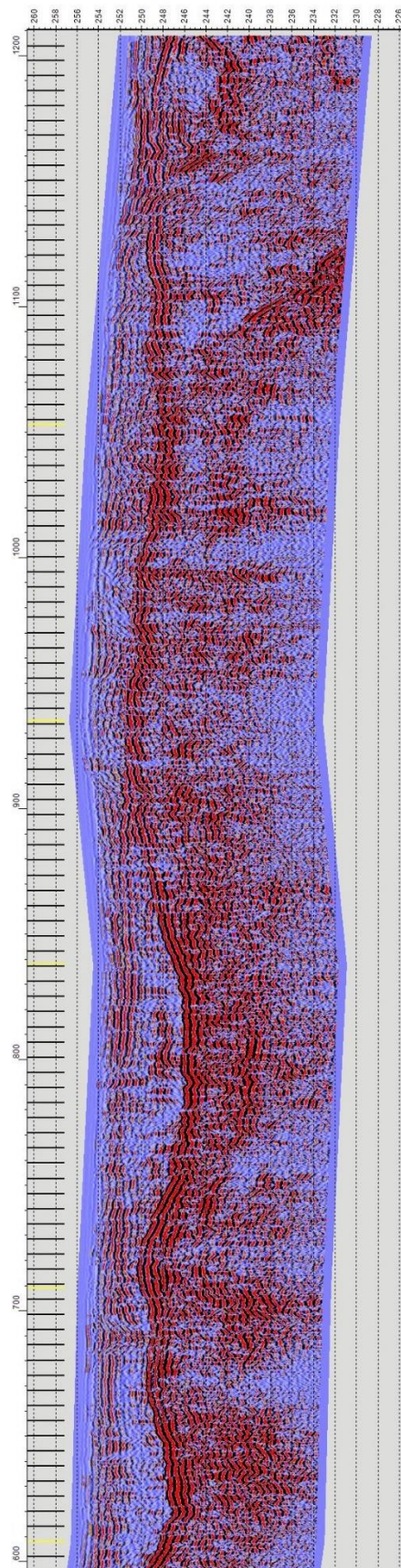
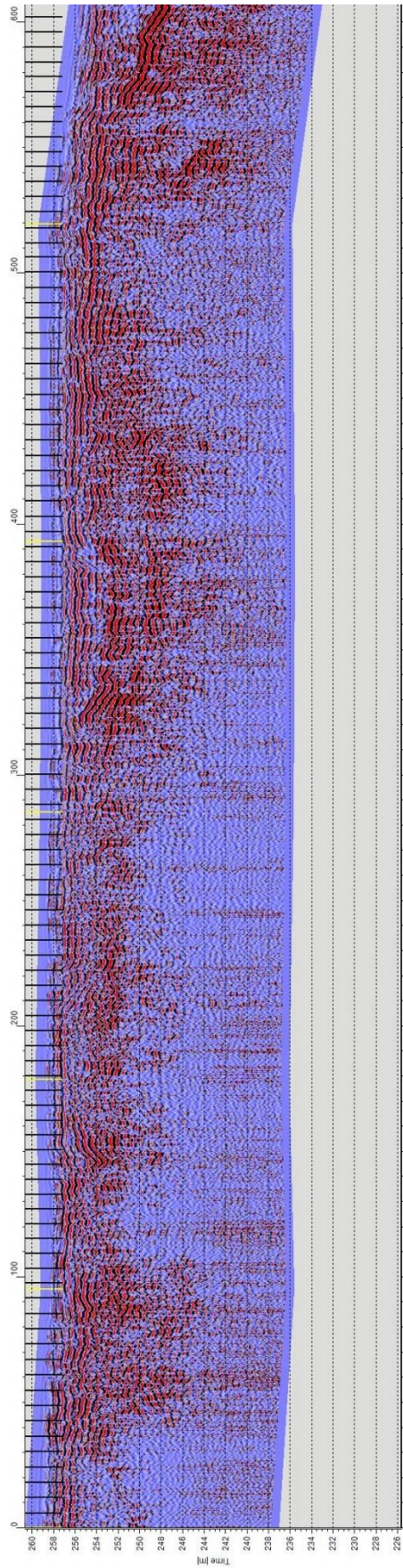
Liitteet 15 & 16: Kolarin tutkimusalueen maatulkuutuslinjat F10 (500-100m) ja F11, maatulkuutusdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



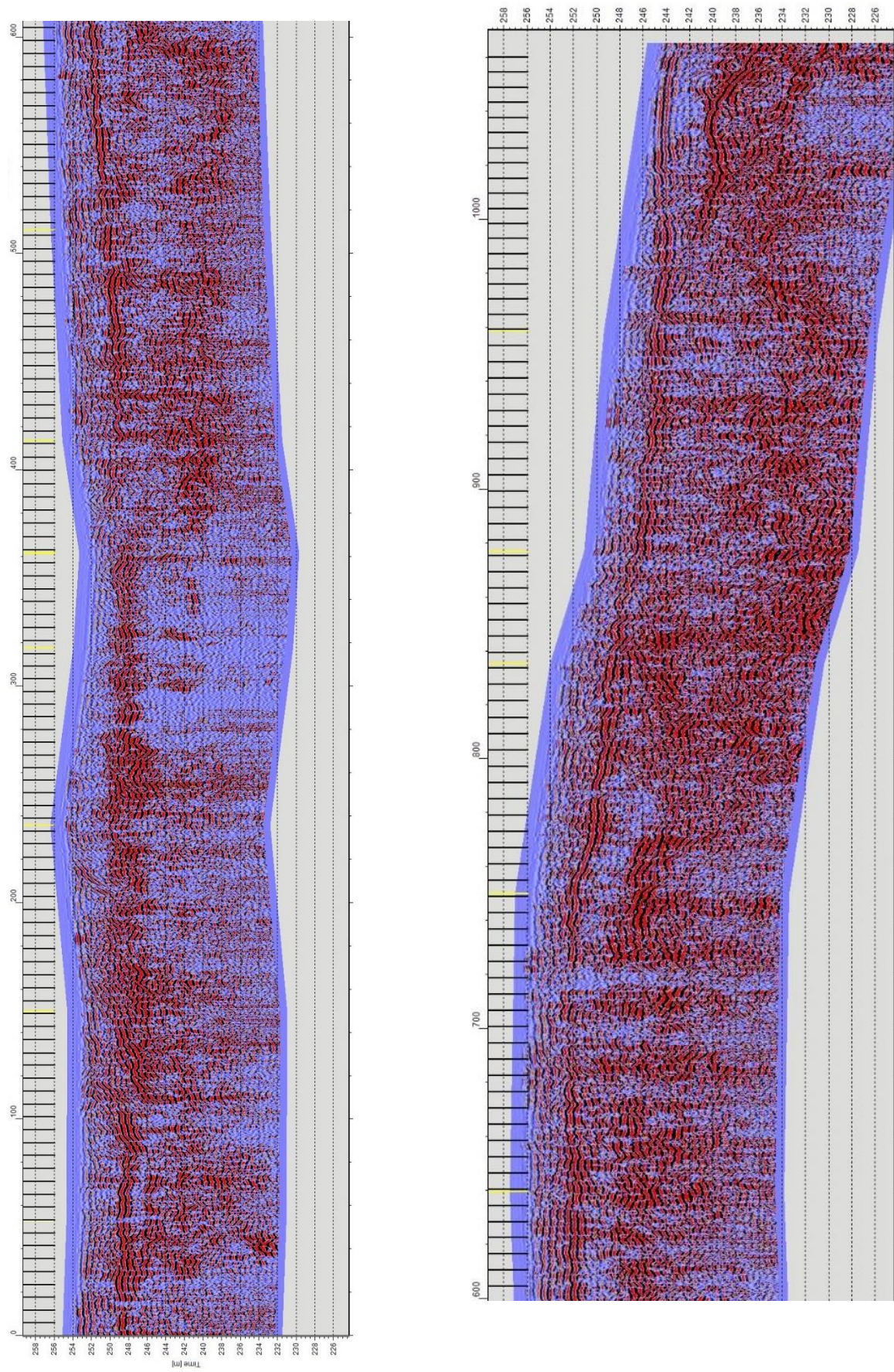
Liite 17: Kolarin tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat F12, maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017e).



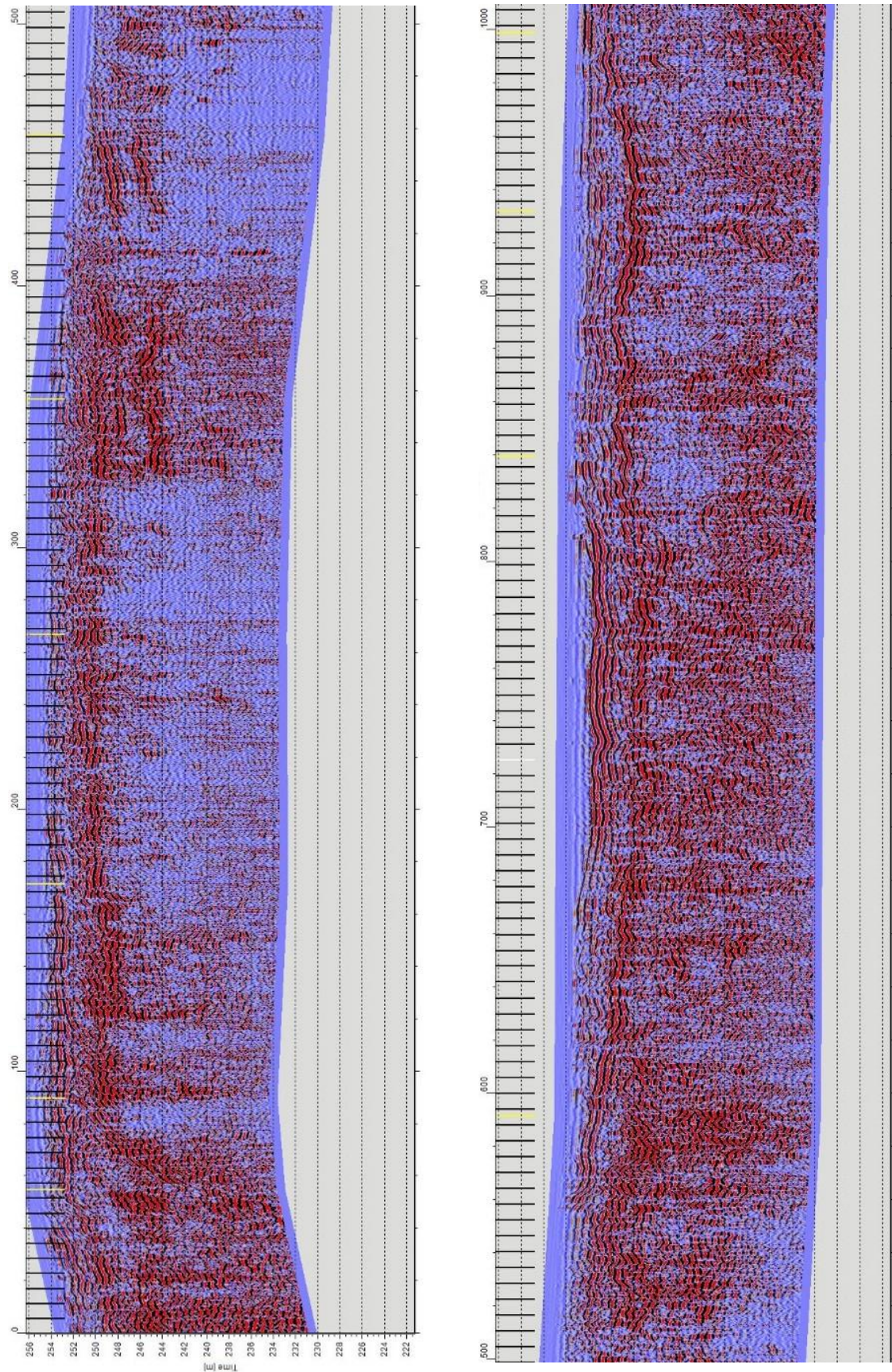
Liitteet 18 & 19: Posion tutkimusalueen maatutkaluotauslinjat Isokangas F7 (0-600m) ja Isokangas F7 (600-1200). Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



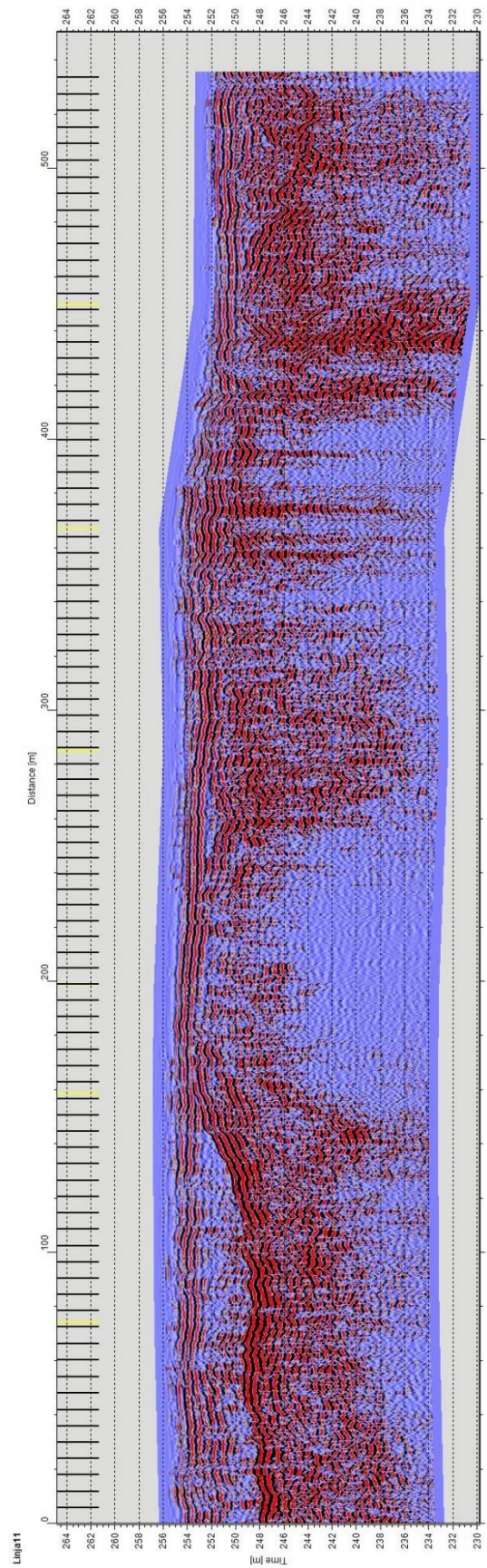
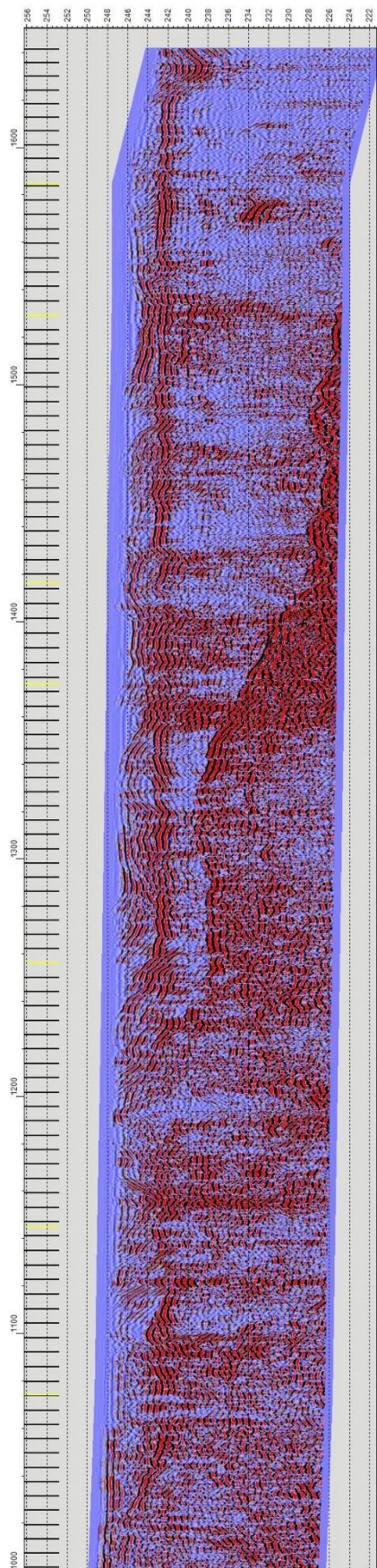
Liitteet 20 & 21: Posion tutkimusalueen maatutkaluotauslinjat Isokangas F8 (0-600m) ja Isokangas F8 (600-1100). Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



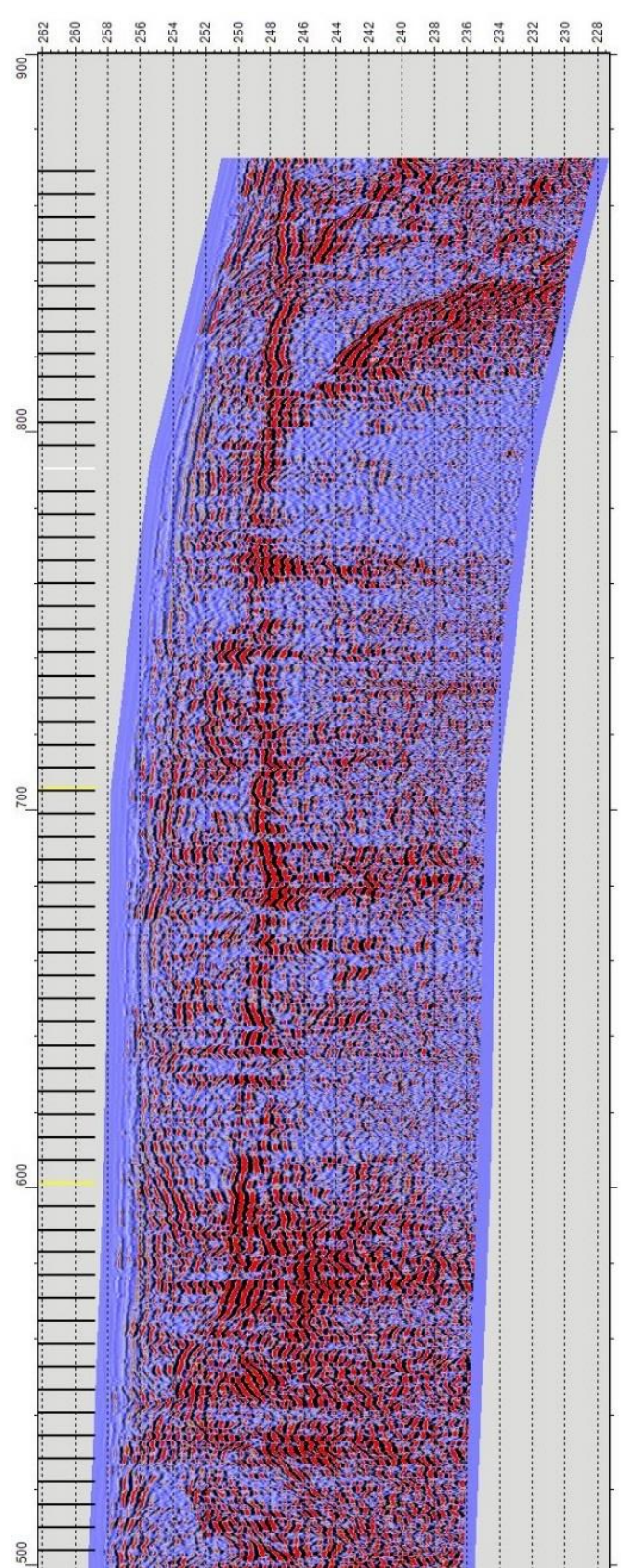
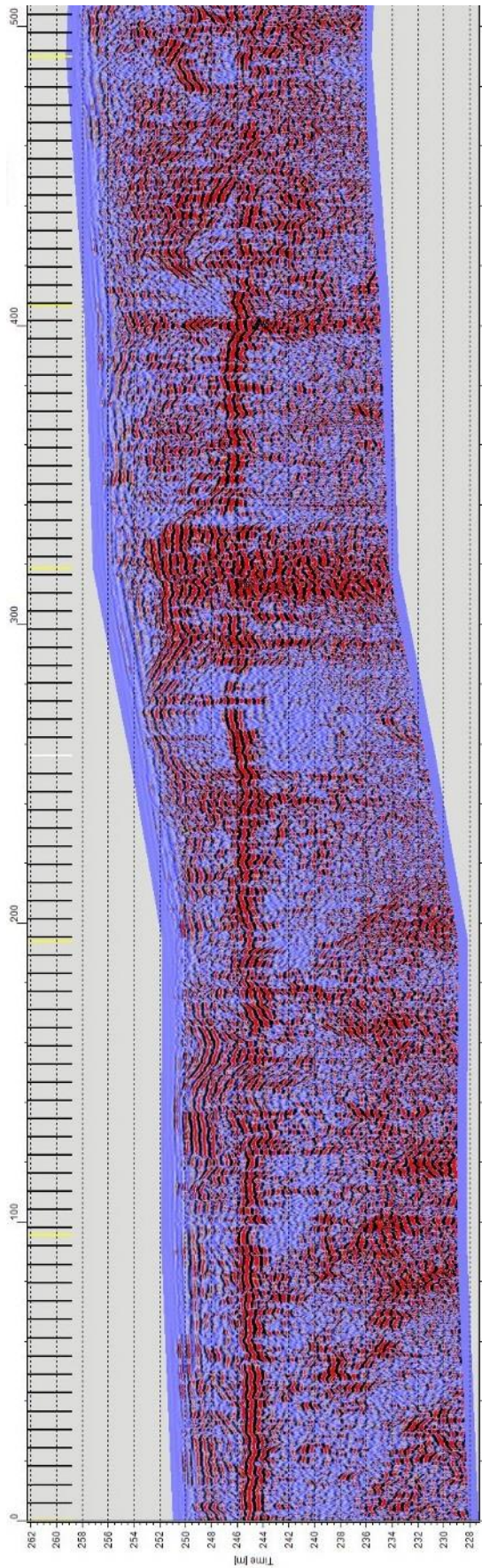
Liitteet 22 & 23: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Isokangas F9 (0-500m) ja Isokangas F8 (500-1000). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



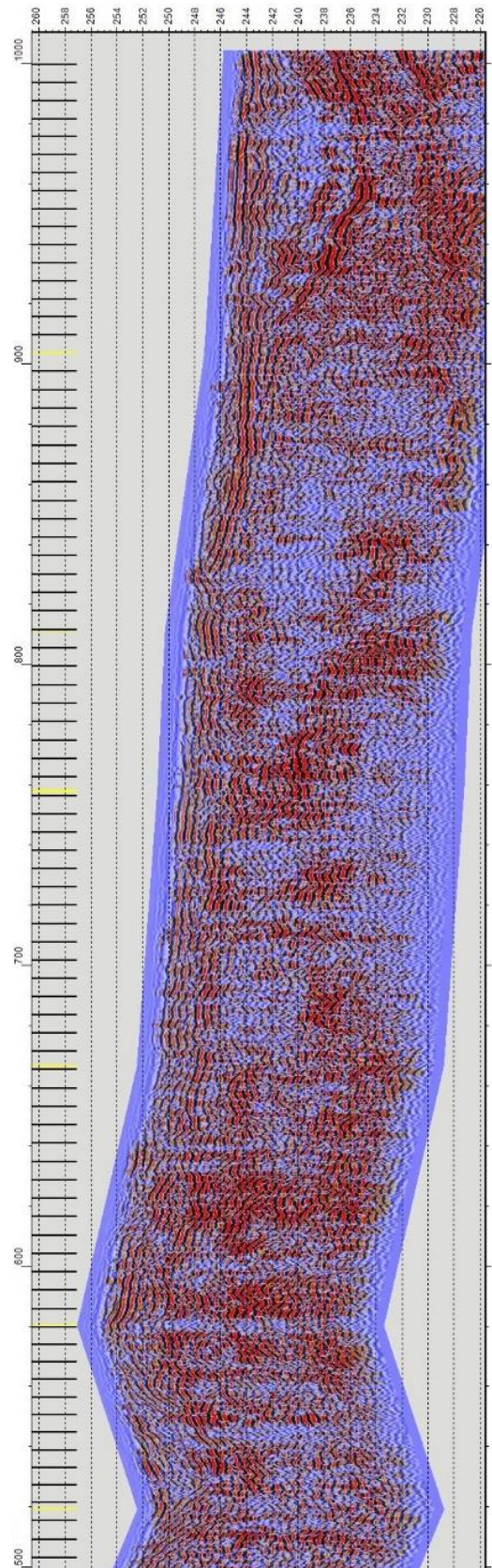
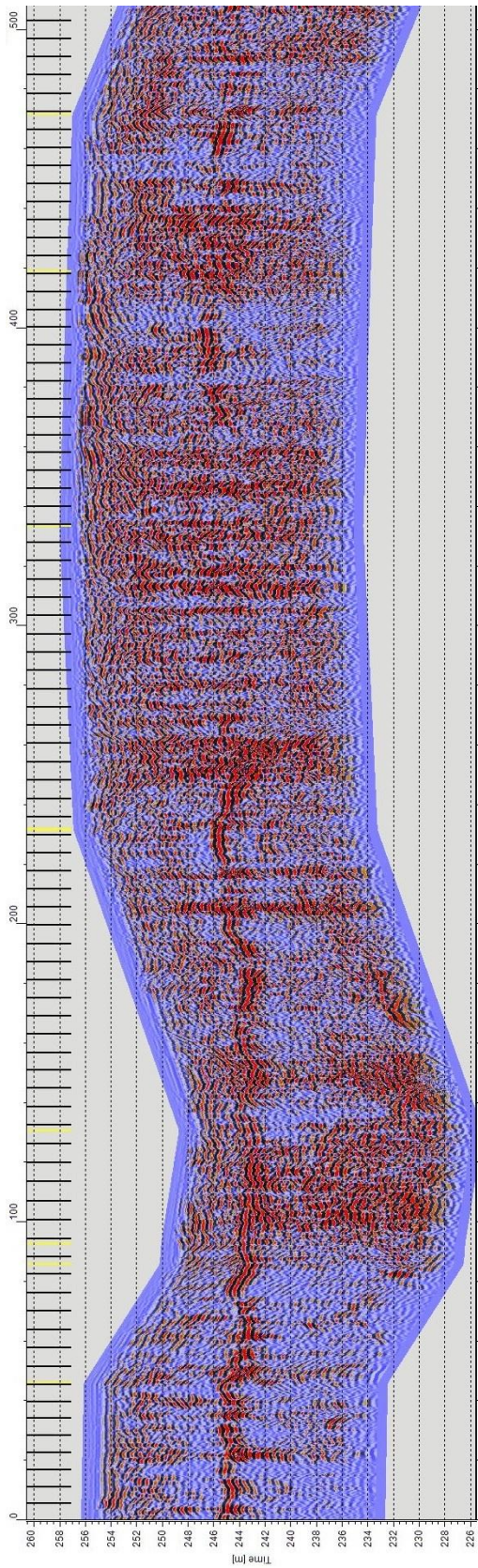
Liitteet 24 & 25: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Isokangas F9 (1000-1700m) ja Isokangas F11 (0-600). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



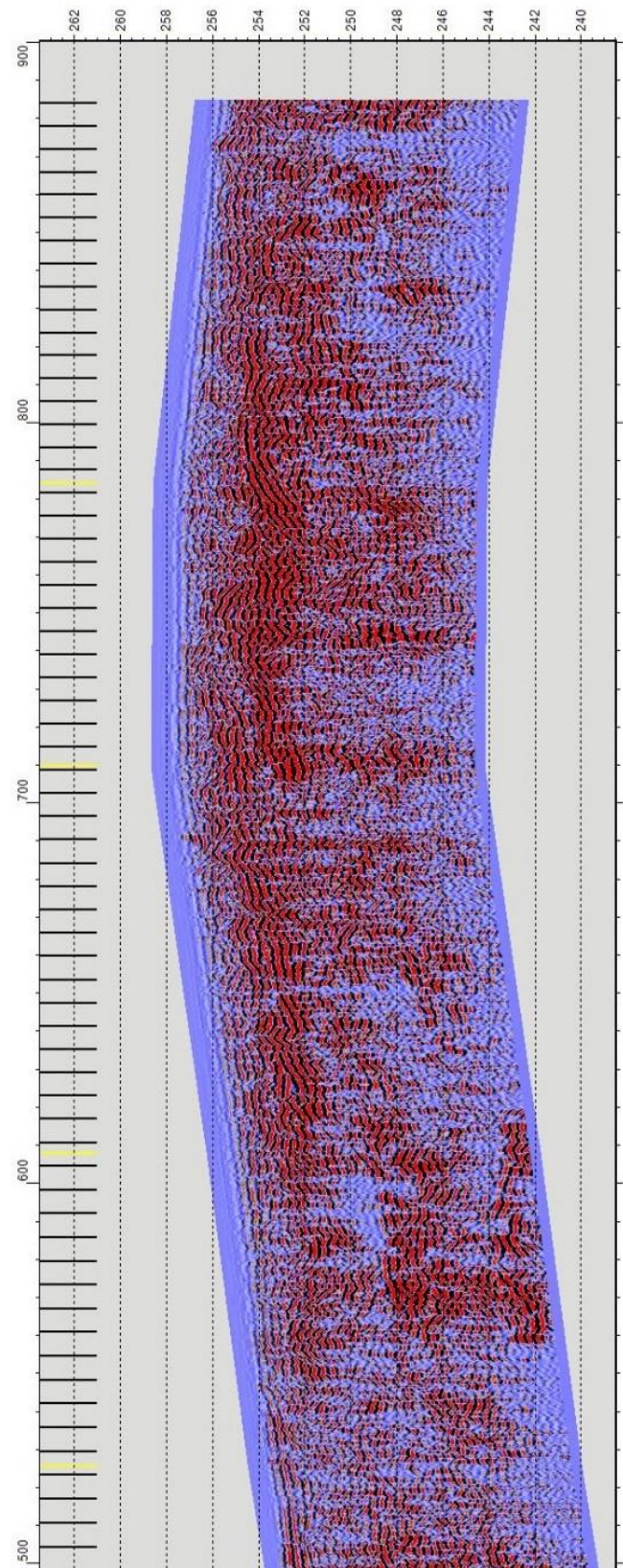
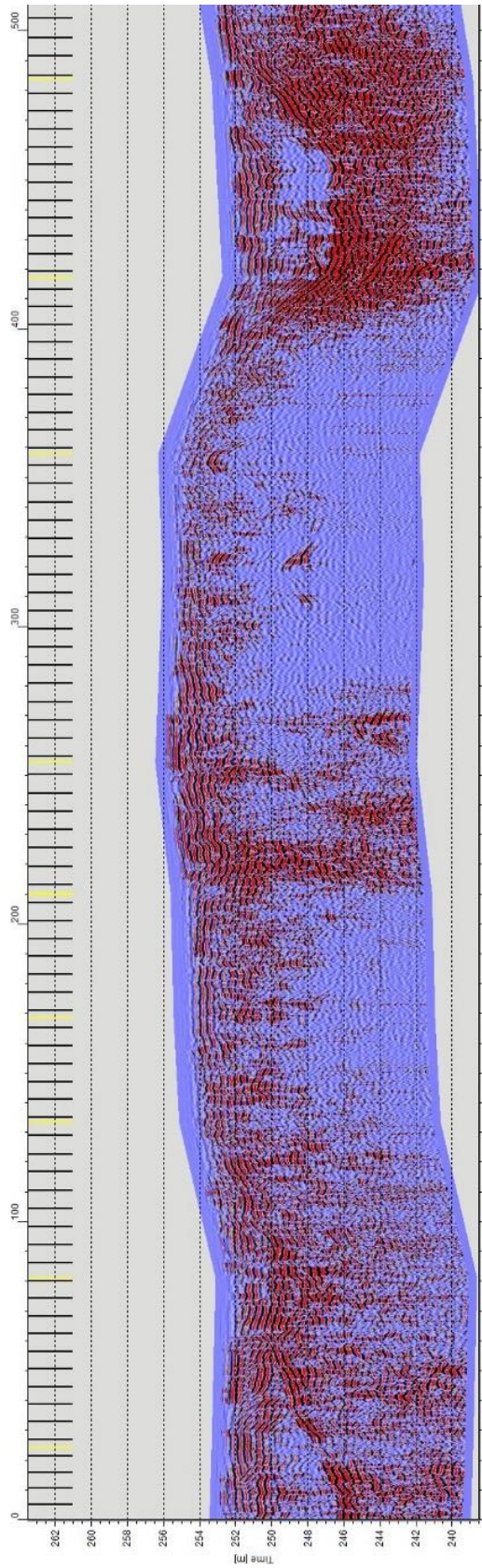
Liitteet 26 & 27: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Jalankangas F13 (0-500m) ja Jalankangas F13 (500-900m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



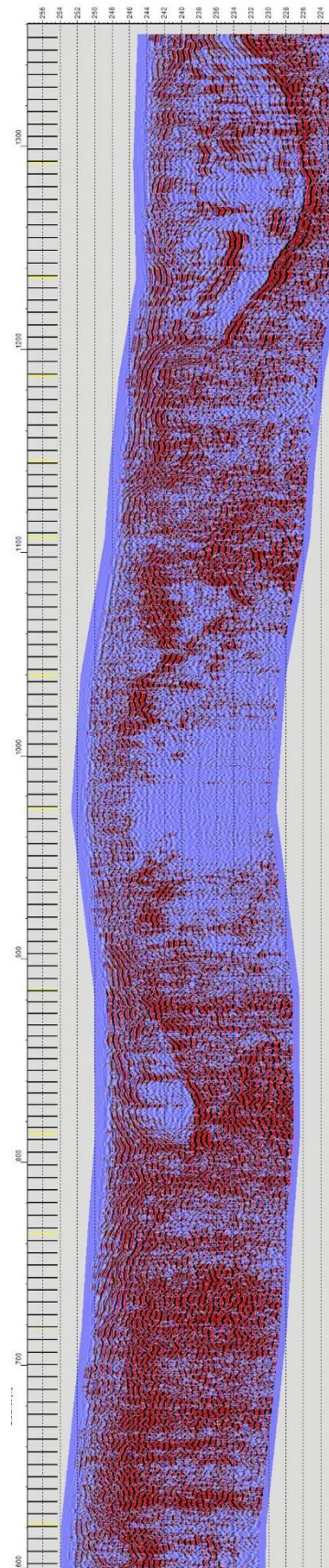
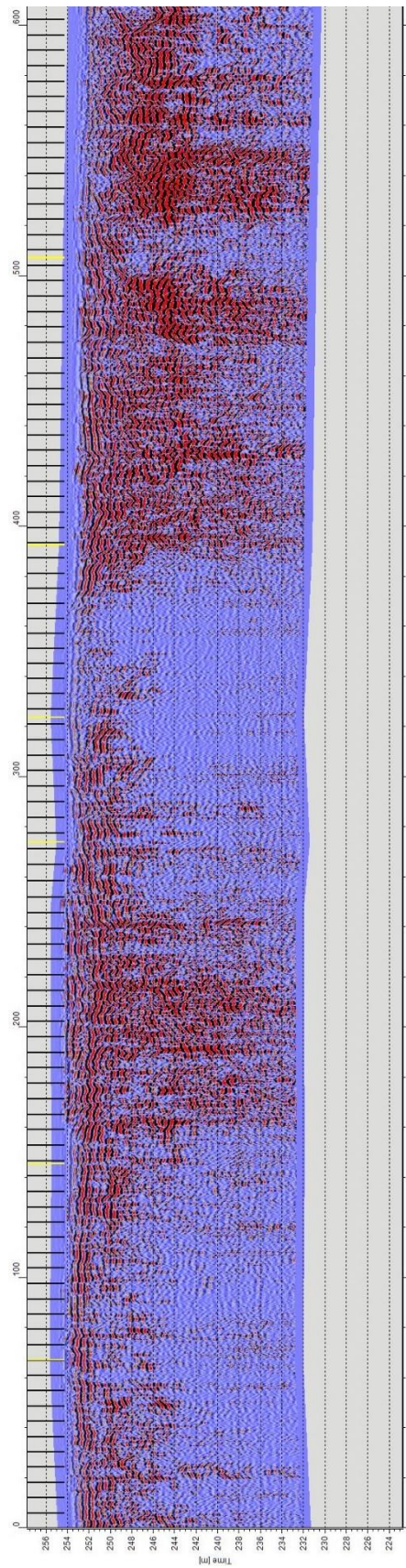
Liitteet 28 & 29: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Jalankangas F16 (0-500m) ja Jalankangas F16 (500-1000m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



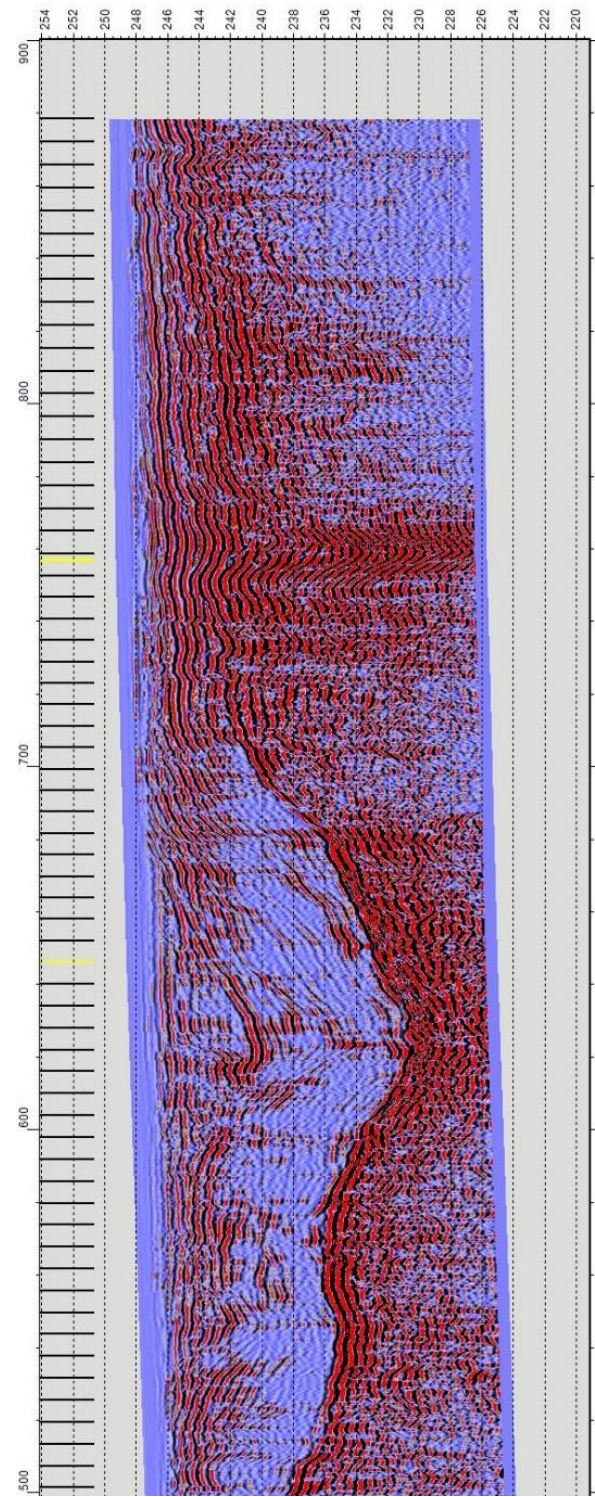
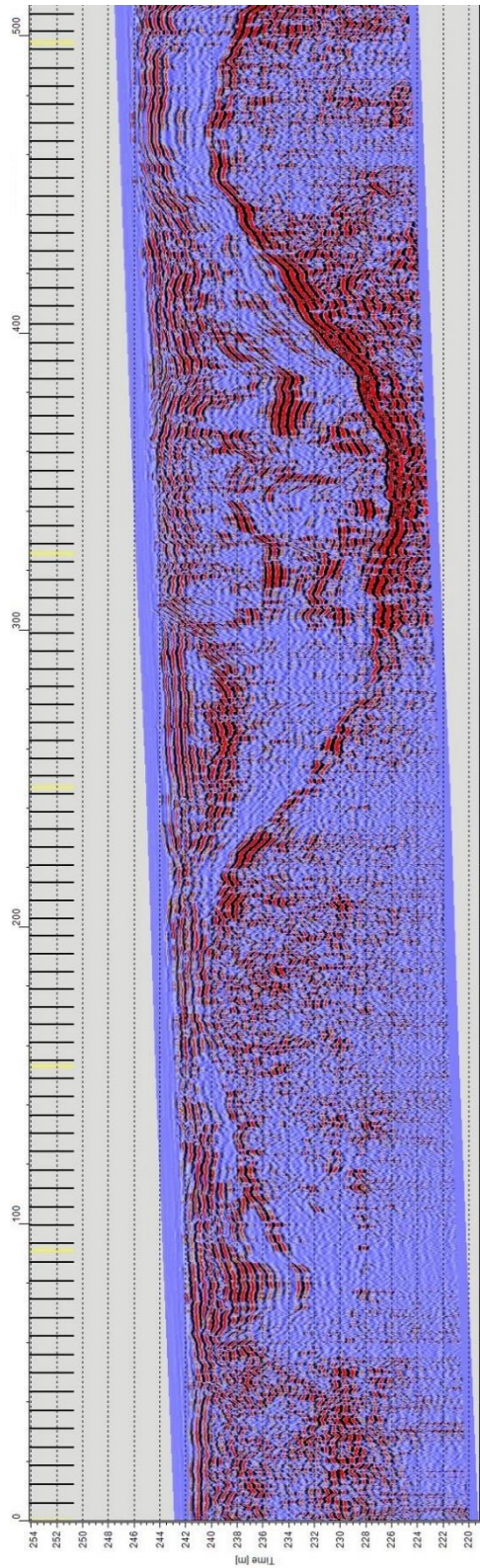
Liitteet 30 & 31: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Peräkangas F1 (0-500m) ja Peräkangas F1 (500-900m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



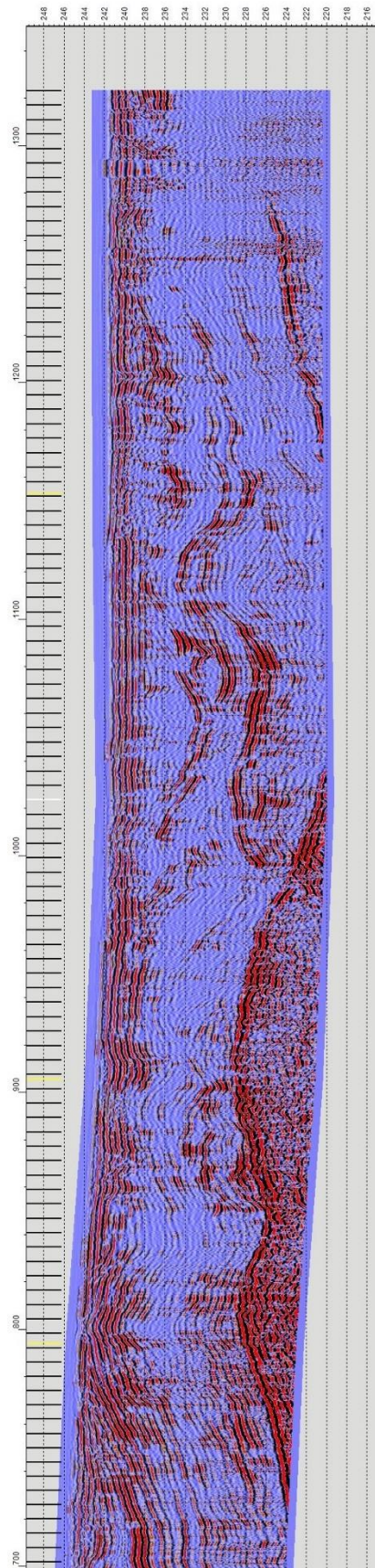
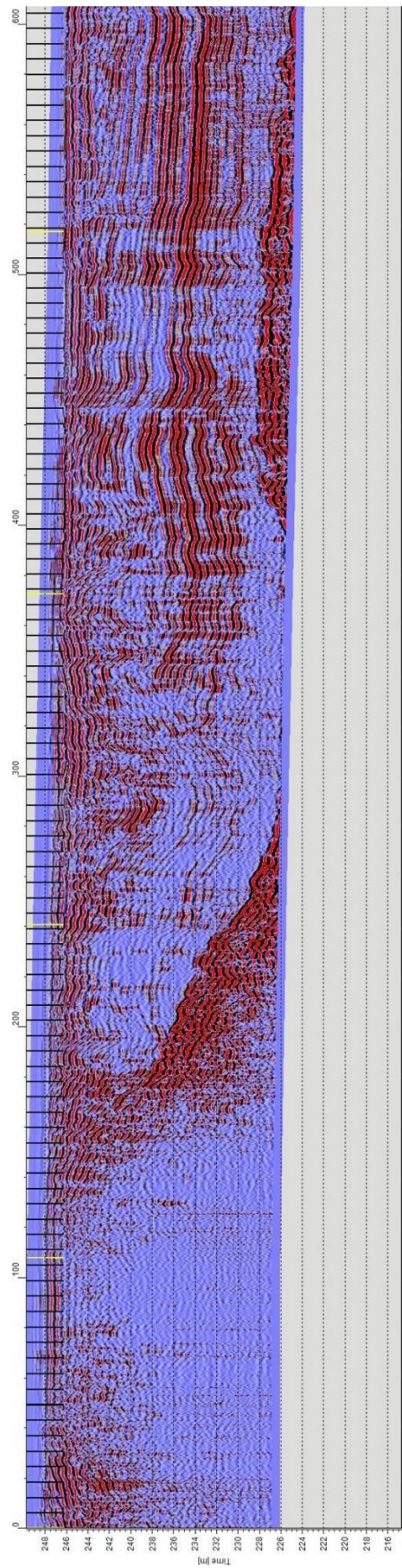
Liitteet 32 & 33: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Peräkangas F2 (0-600m) ja Peräkangas F2 (600-1200m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



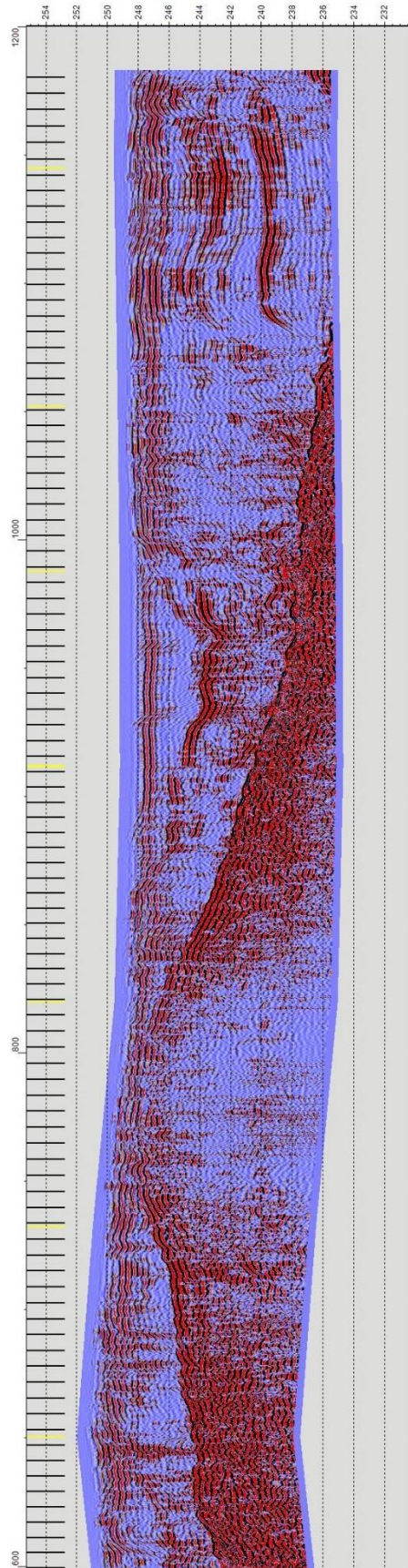
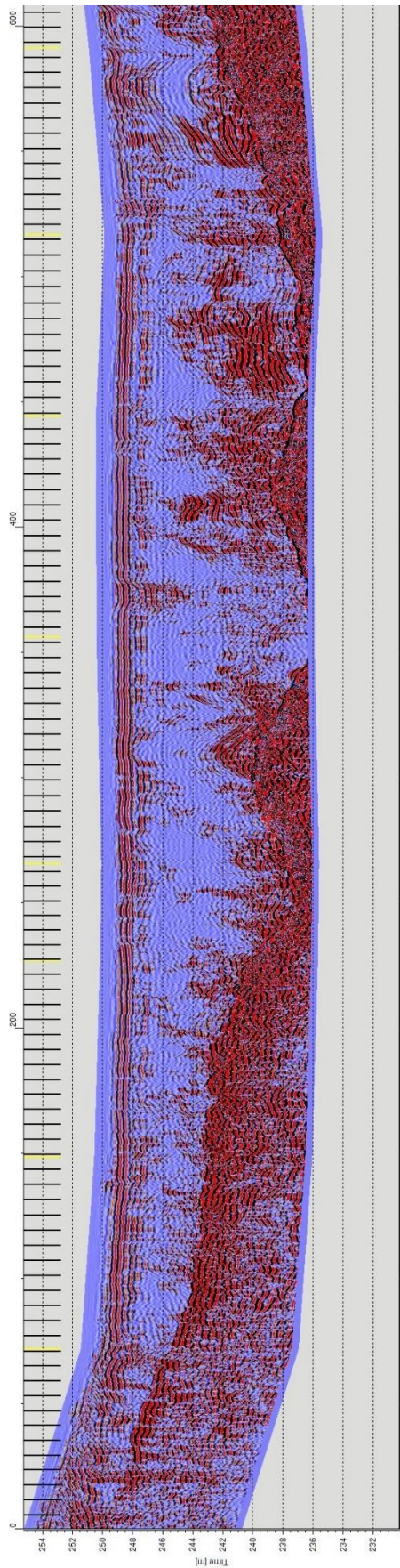
Liitteet 34 & 35: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Peräkangas F3 (0-500m) ja Peräkangas F3 (500-1000m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



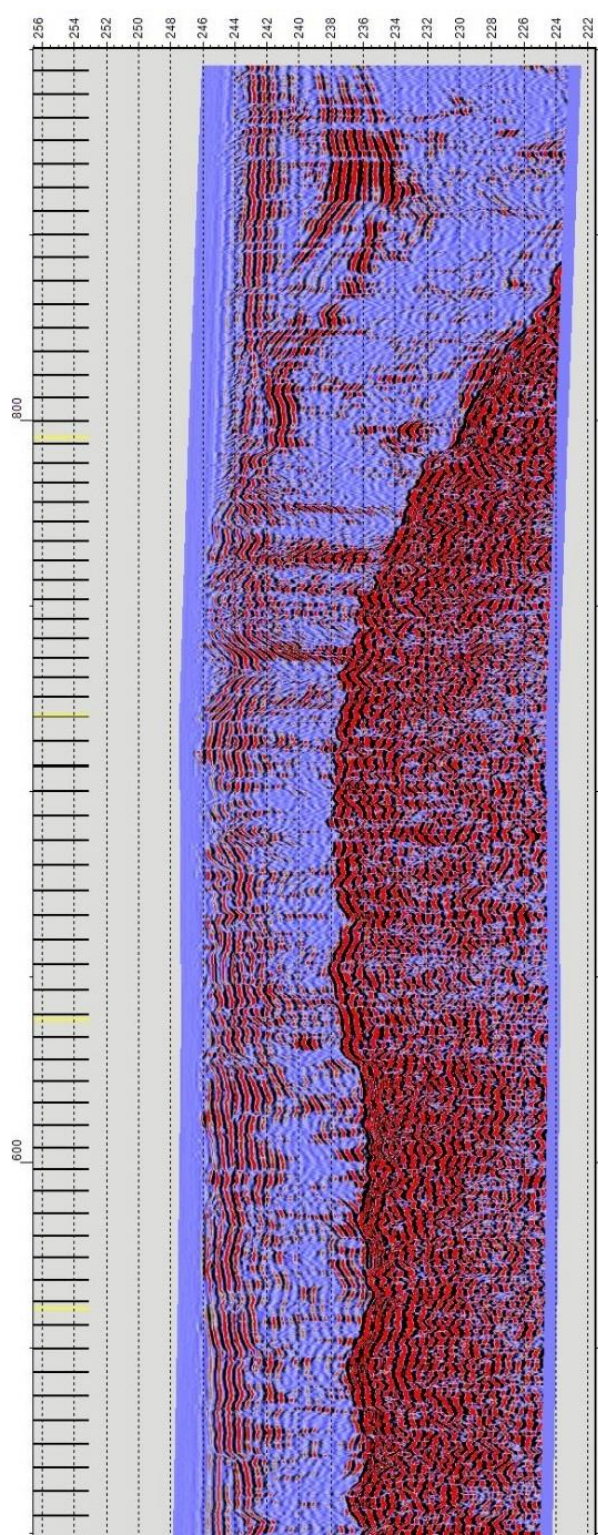
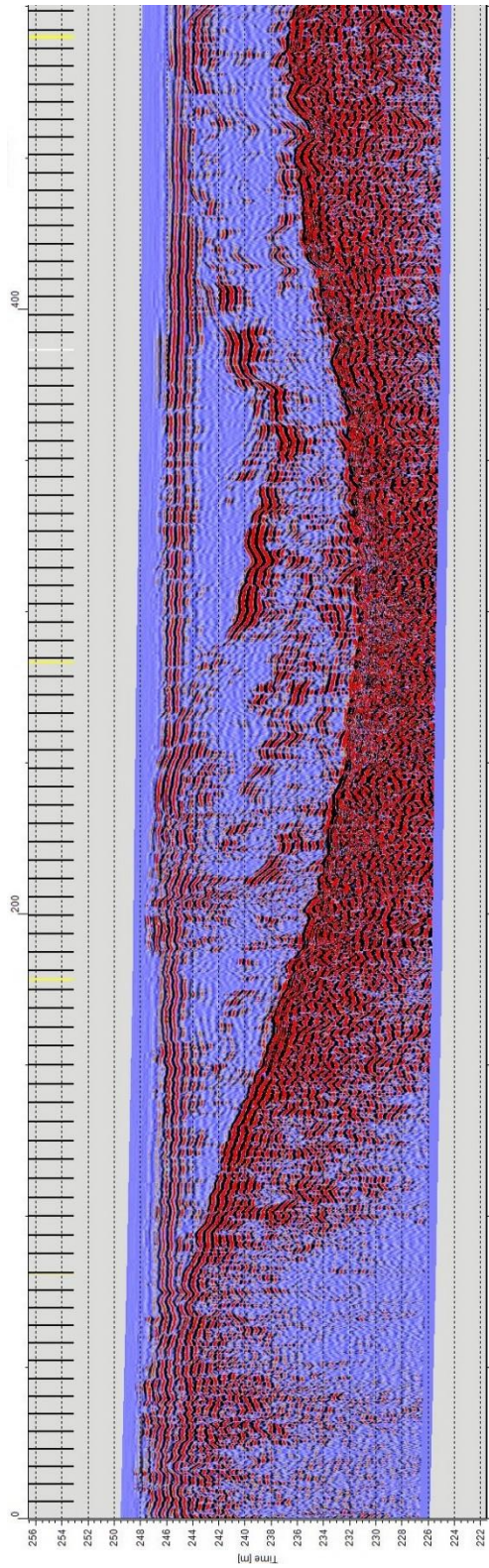
Liitteet 36 & 37: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Peräkangas F4 (0-600m) ja Peräkangas F4 (600-1300m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



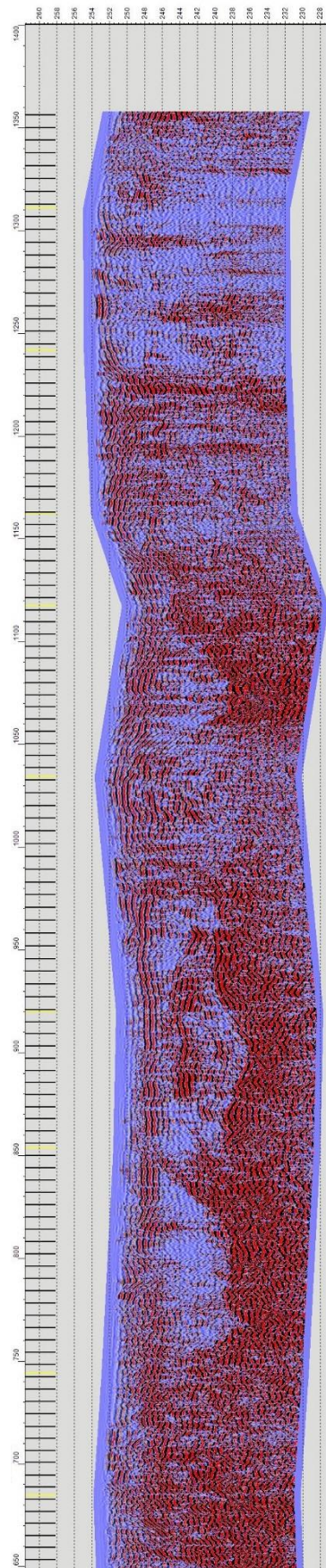
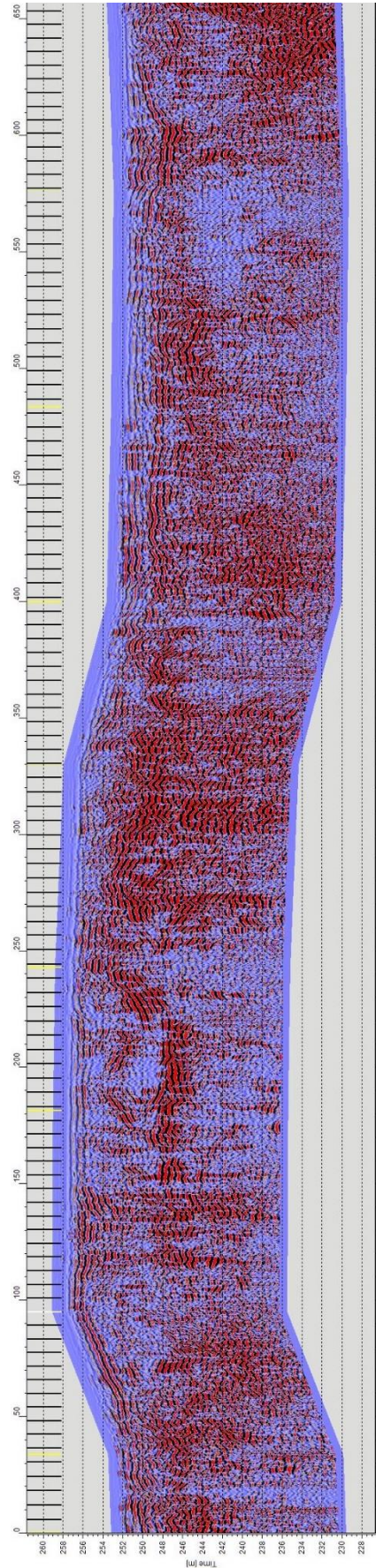
Liitteet 38 & 39: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Peräkangas F5 (0-600m) ja Peräkangas F5 (600-1200m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



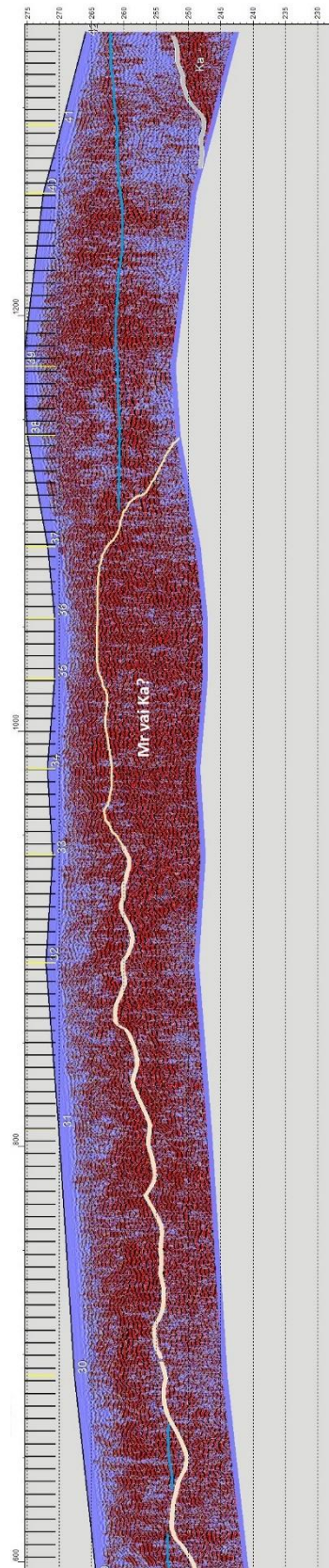
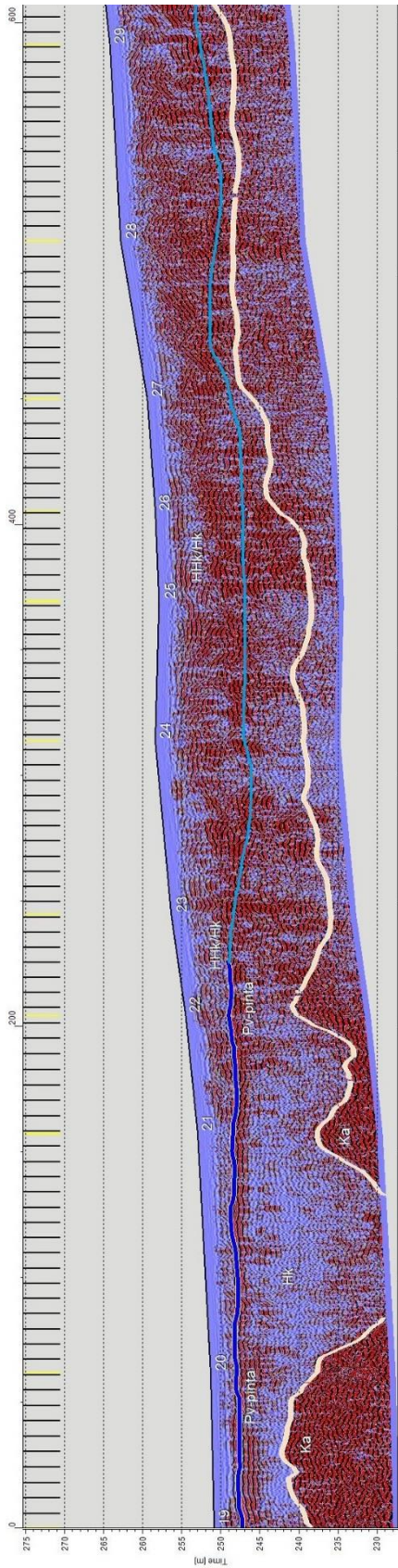
Liitteet 40 & 41: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Peräkangas F6 (0-450m) ja Peräkangas F6 (450-900m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



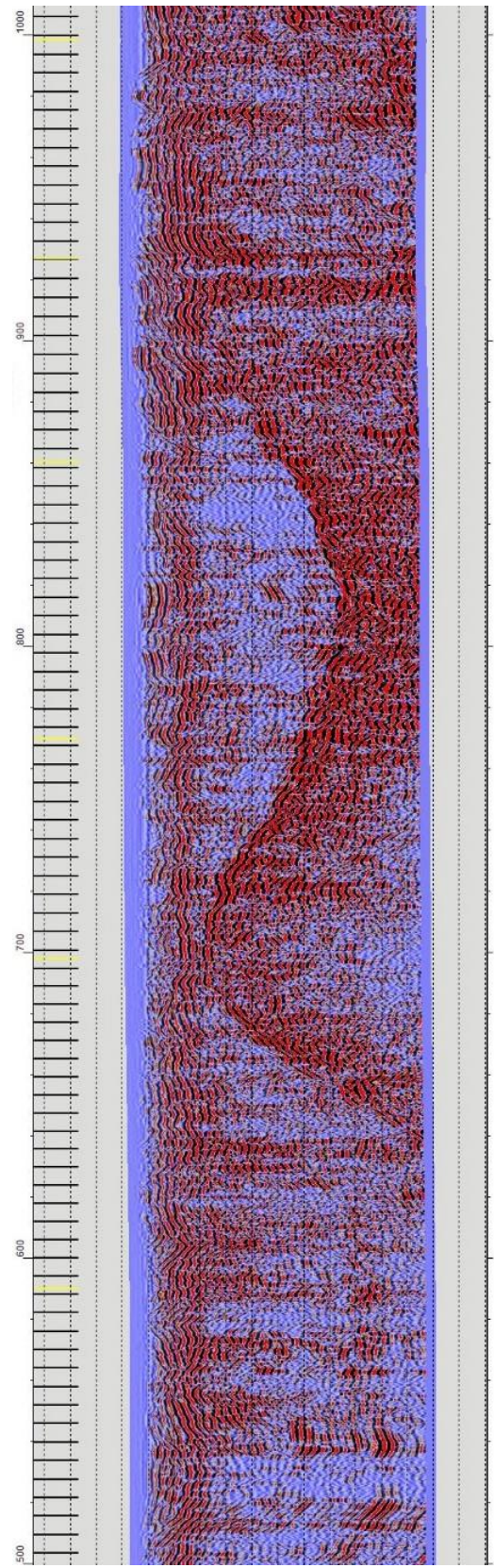
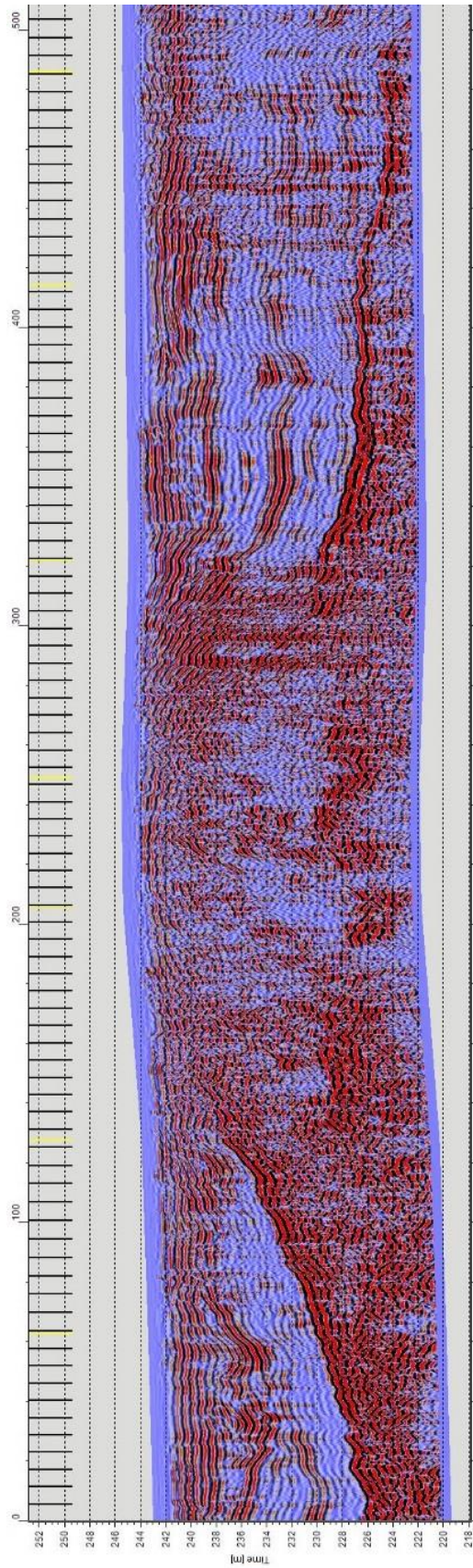
Liitteet 42 & 43: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Rytinginkangas F17 (0-650m) ja Rytinginkangas F17 (650-1350m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



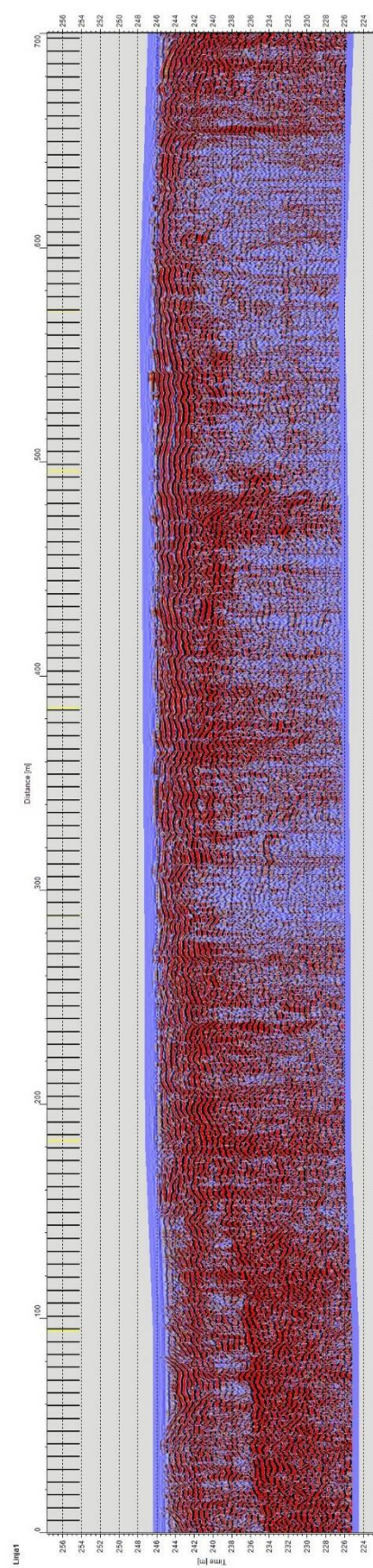
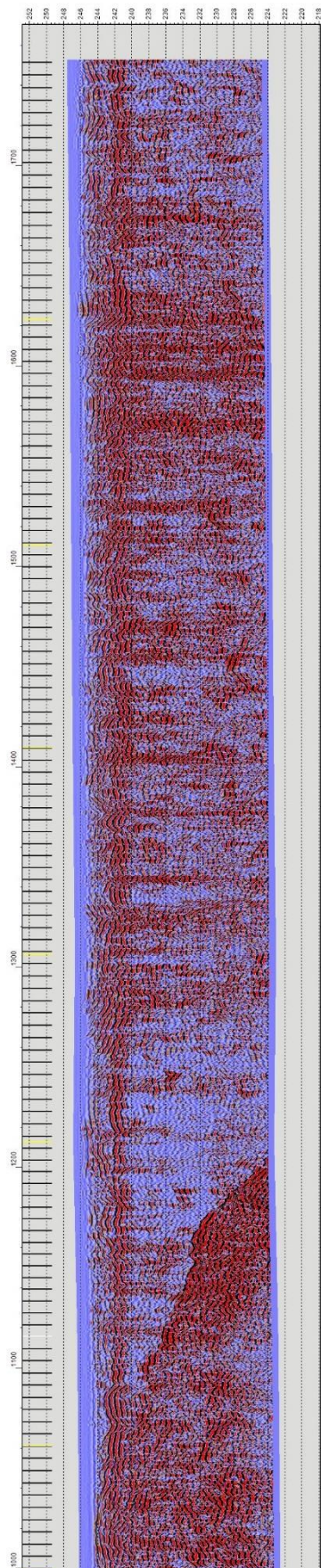
Liitteet 44 & 45: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat tulkittoineen Rytinginkangas F18 (0-600m) ja Rytinginkangas F18 (600-1200m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



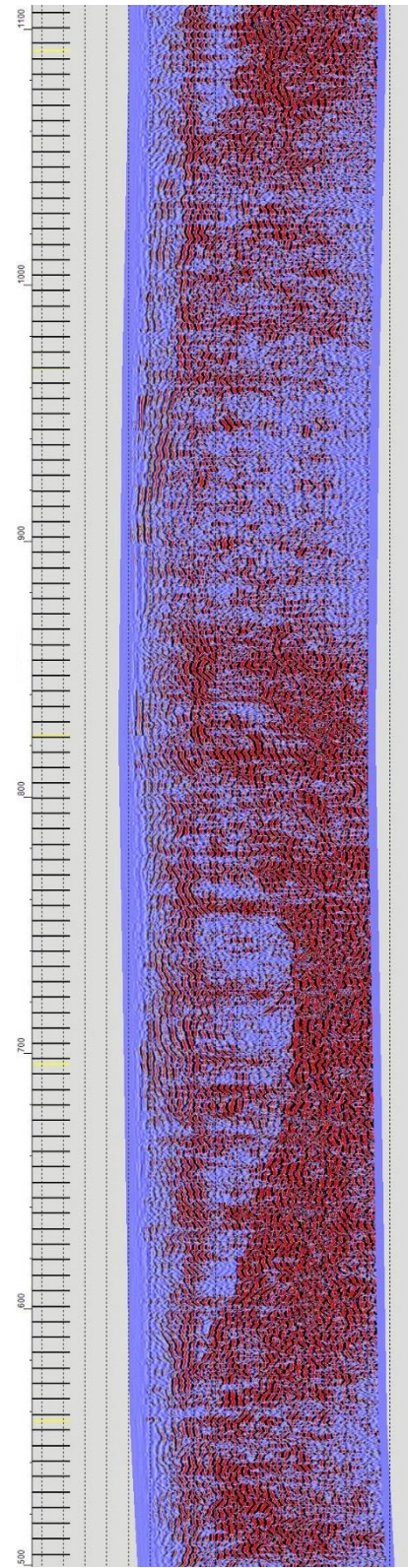
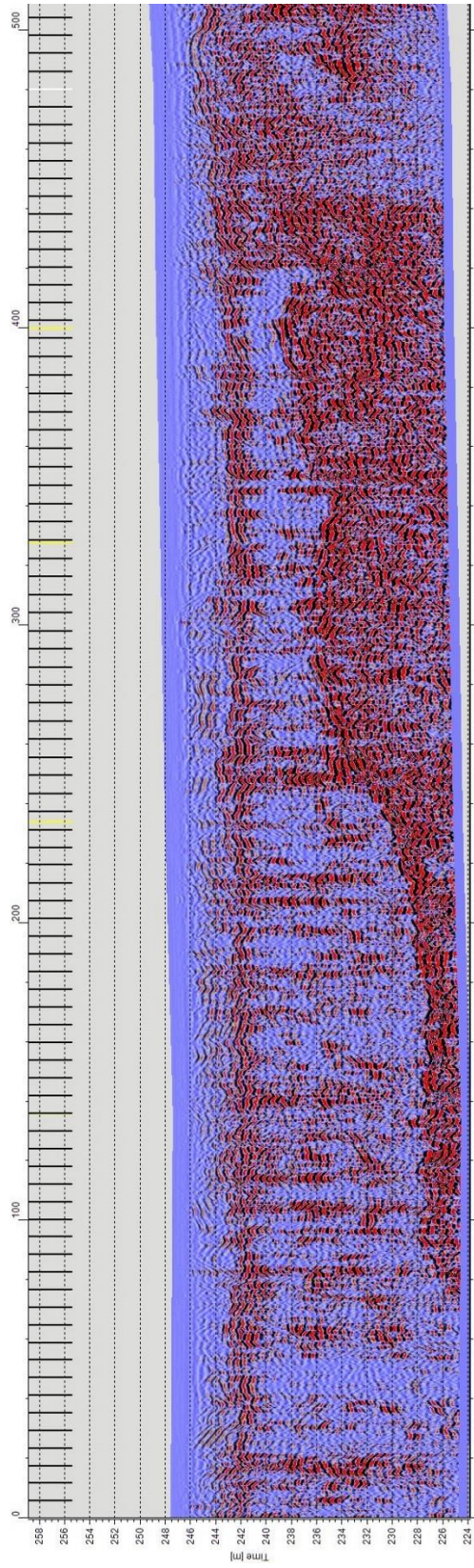
Liitteet 46 & 47: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Kurpungangas F12 (0-500m) ja Kurpungangas F12 (500-1000m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



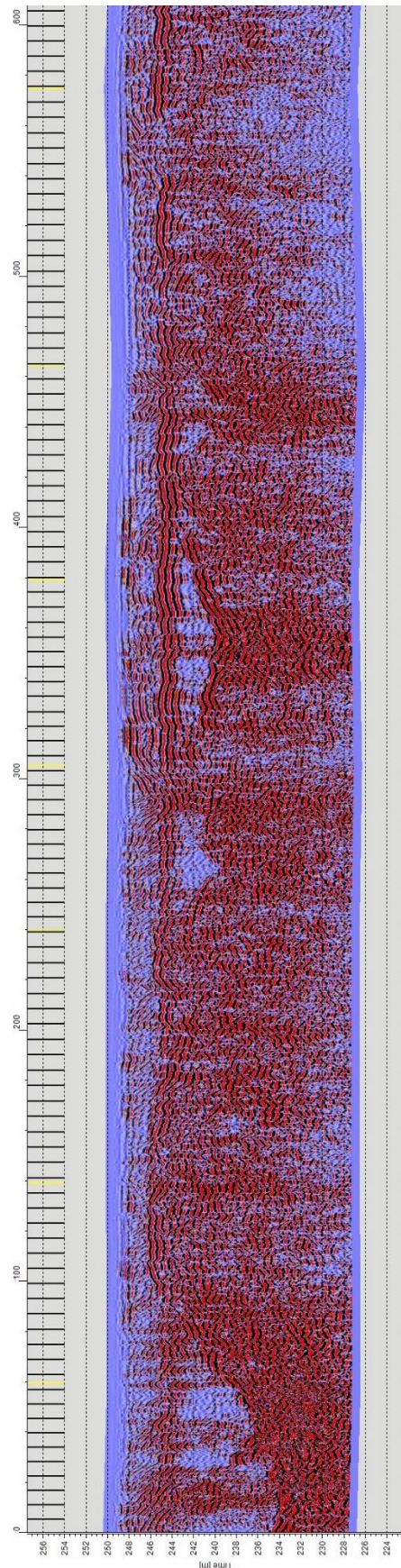
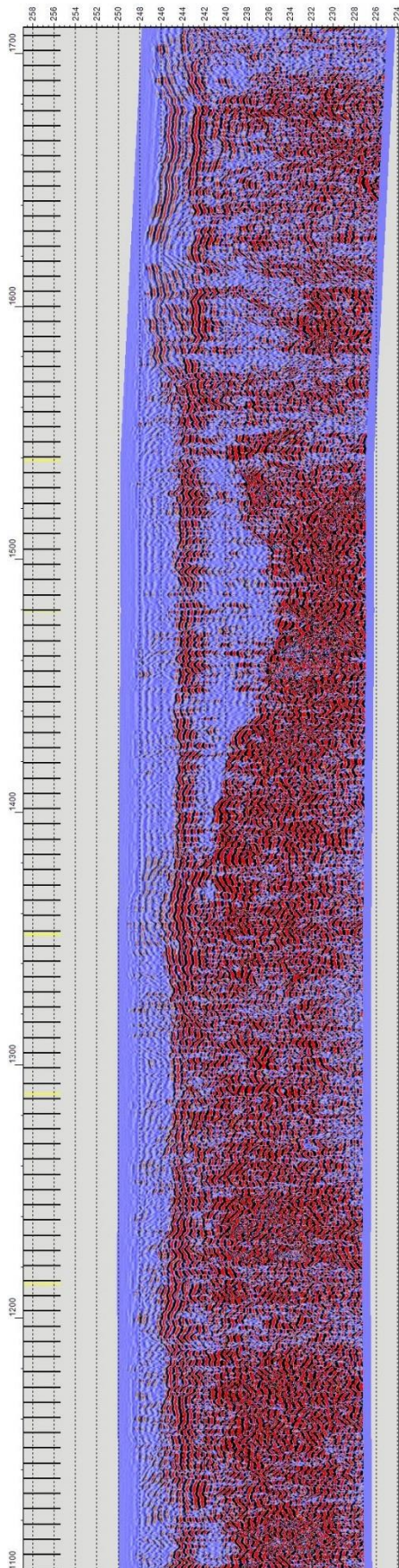
Liitteet 48 & 49: Posion tutkimusalueen maatulkuotauslinjat Kurpungangas F12 (1000-1700m) ja Kurpungangas F1 (0-700m). Maatulkuotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



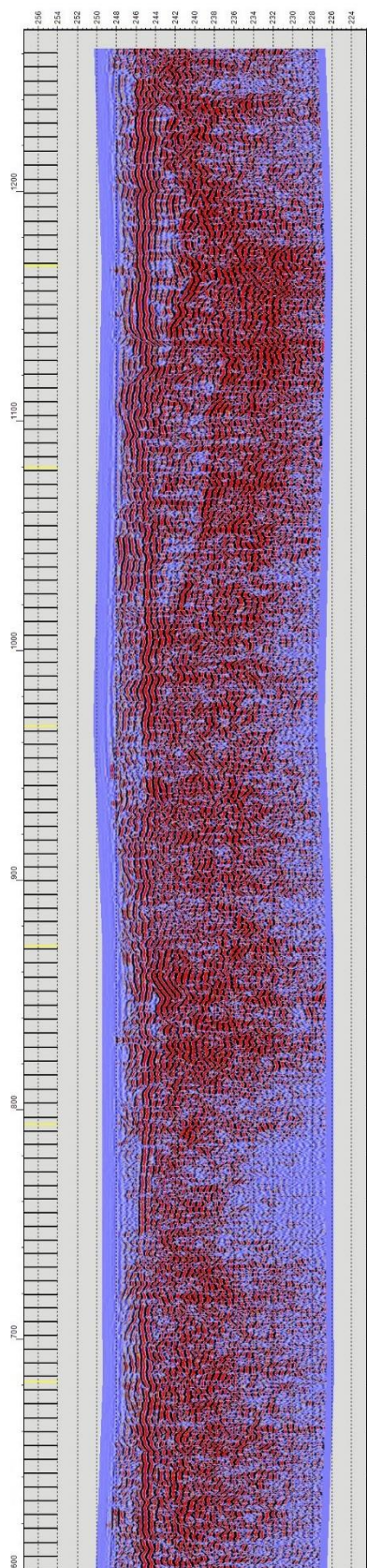
Liitteet 50 & 51: Posion tutkimusalueen maatutkaluotauslinjat Kurpunkangas F13 (0-500m) ja Kurpunkangas F13 (500-1100m). Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



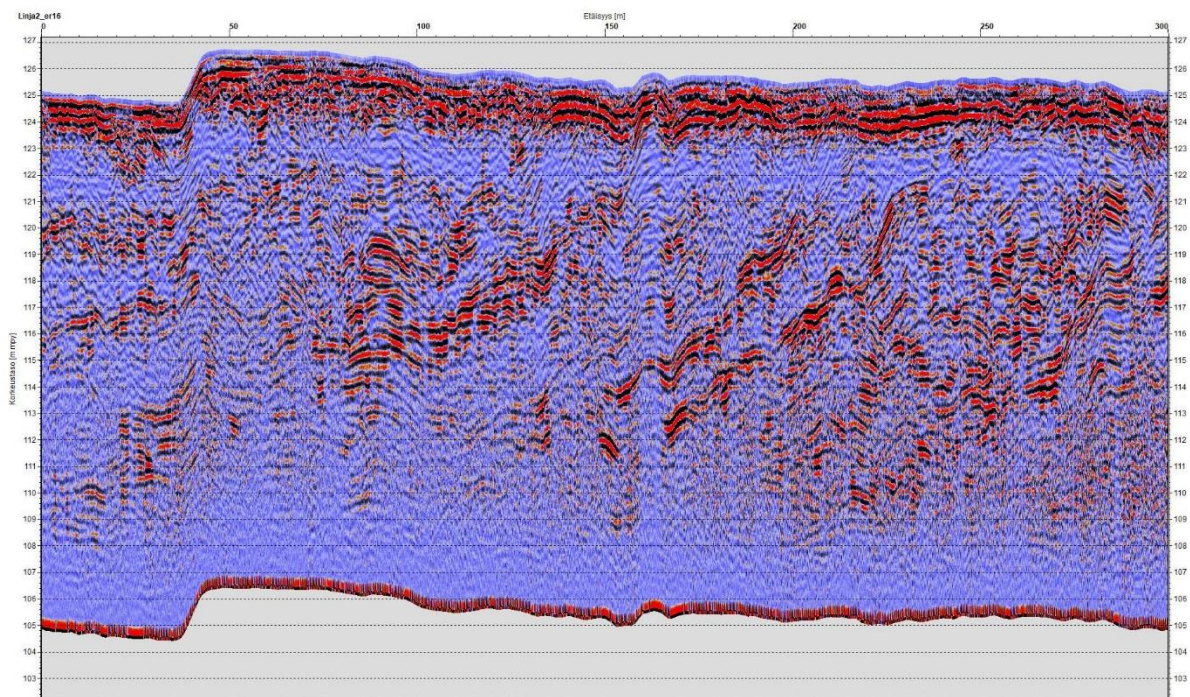
Liitteet 52 & 53: Posion tutkimusalueen maatutkaluotauslinjat Kurpunkangas F13 (1100-1700m) ja Kurpunkangas F15 (0-600m). Maatutkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



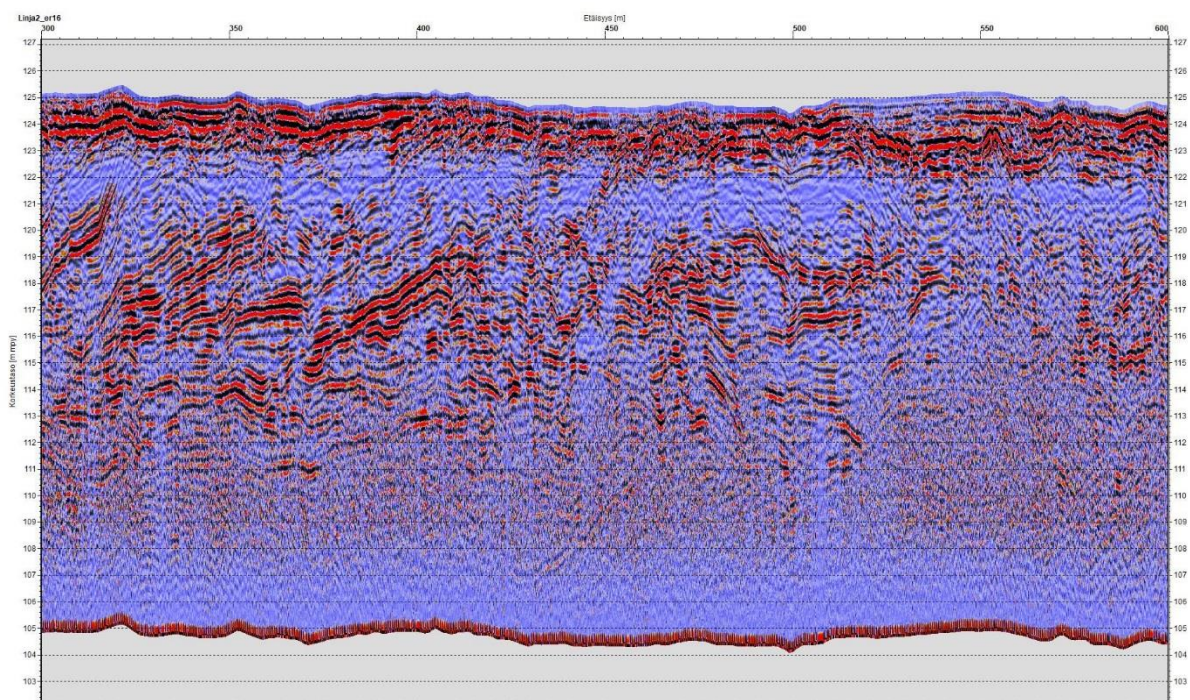
Liite 54: Posion tutkimusalueen maatumkaluotauslinjat Kurpungangas F15 (600-1200m) ja Kurpungangas F15 (0-600m). Maatumkaluotausdatan alkuperäislähde GTK (2017d).



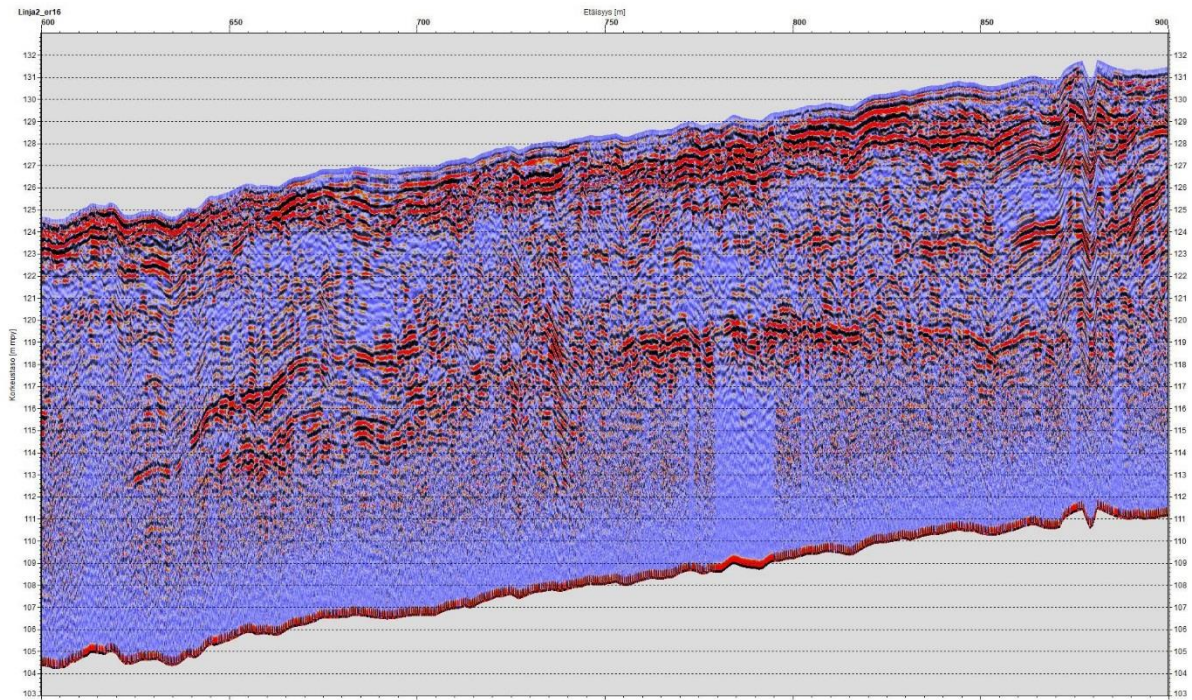
Liite 55: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 2, 0-300m



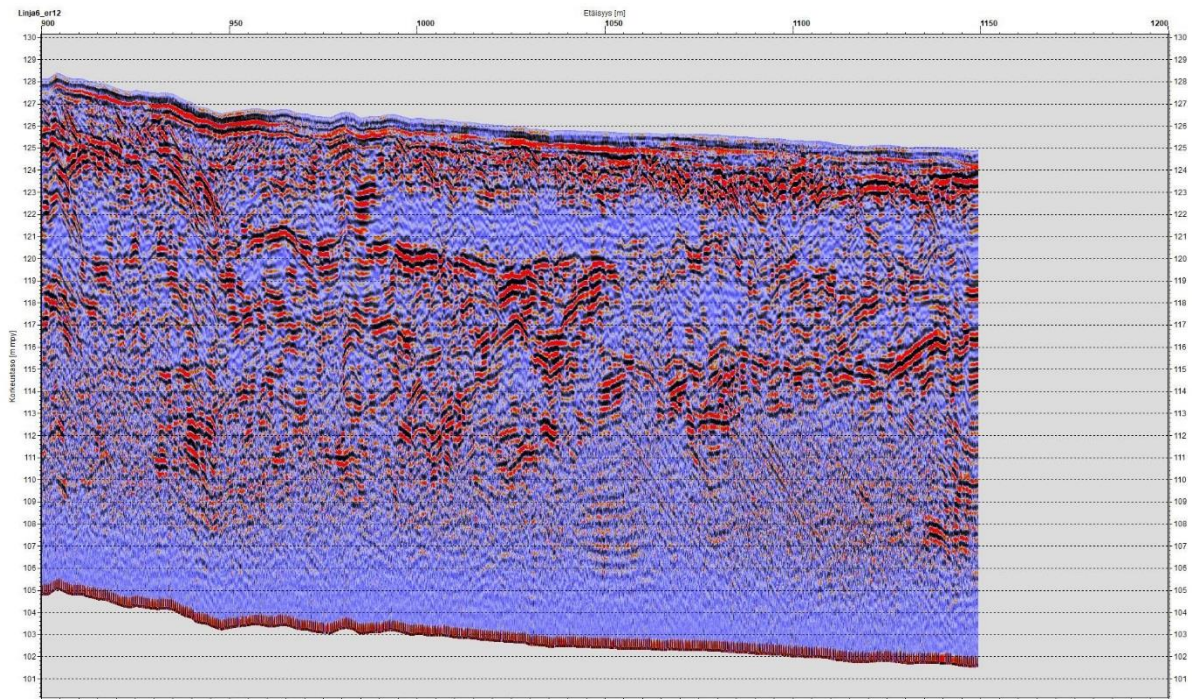
Liite 56: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 2, 300-600m



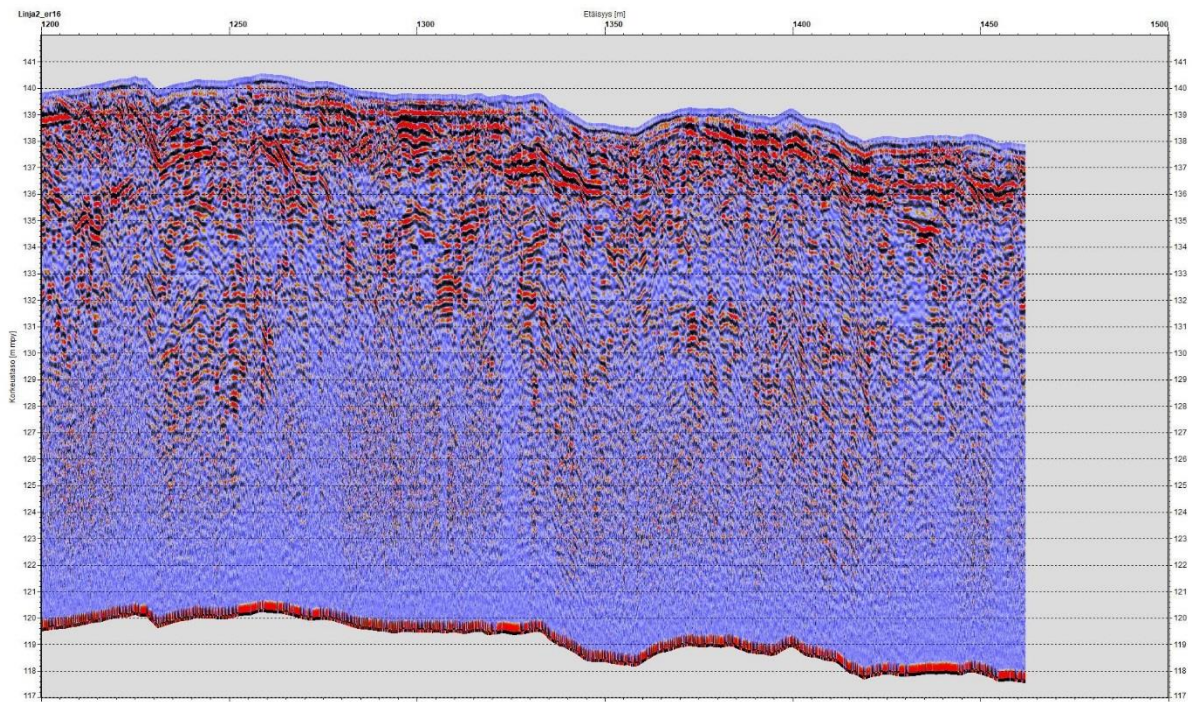
Liite 57: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 2, 600-900m



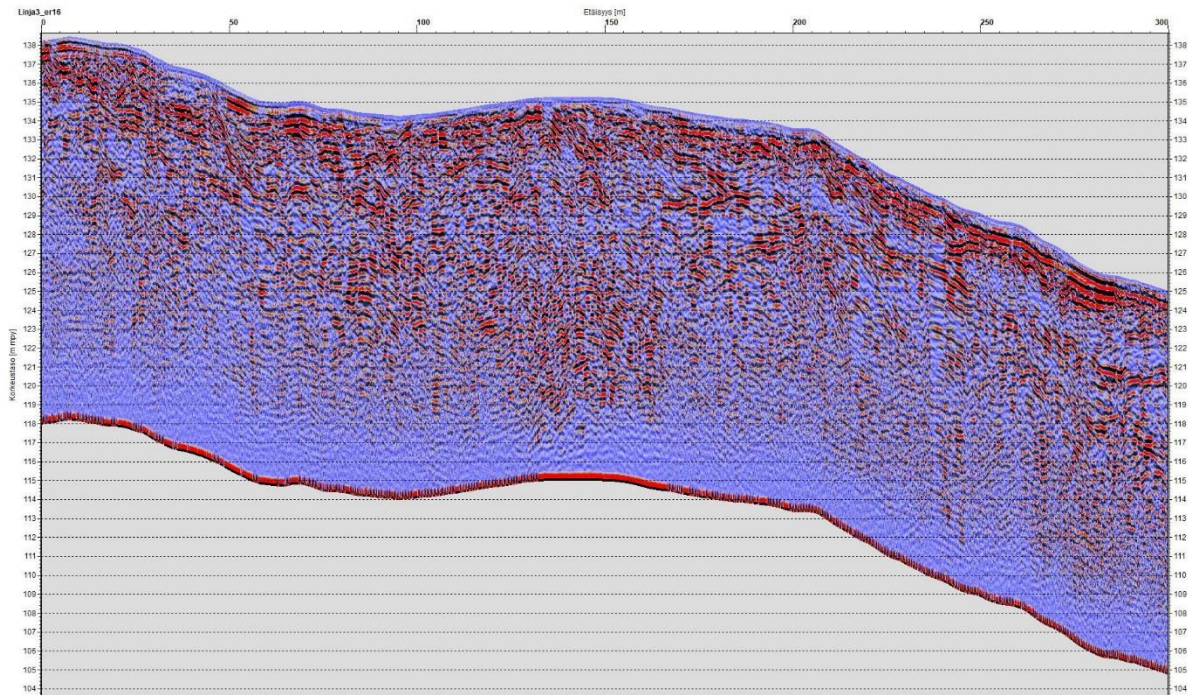
Liite 58: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 900-1200m



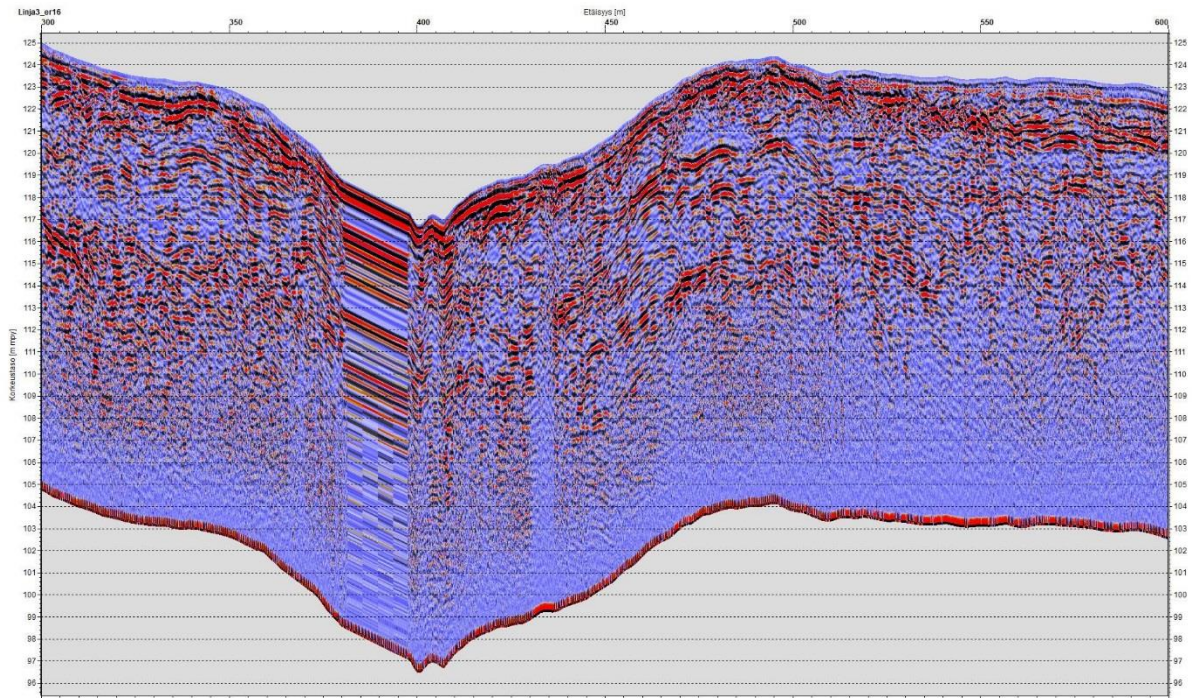
Liite 59: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 2, 1200-1500m



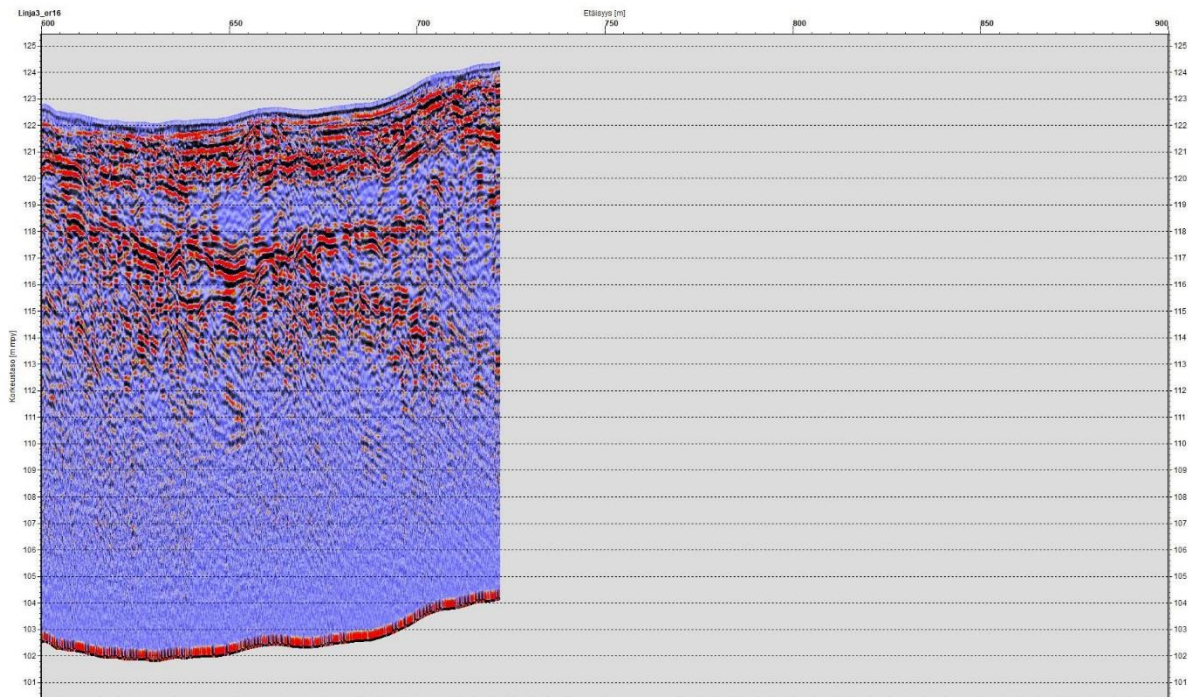
Liite 60: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 3, 0-300m



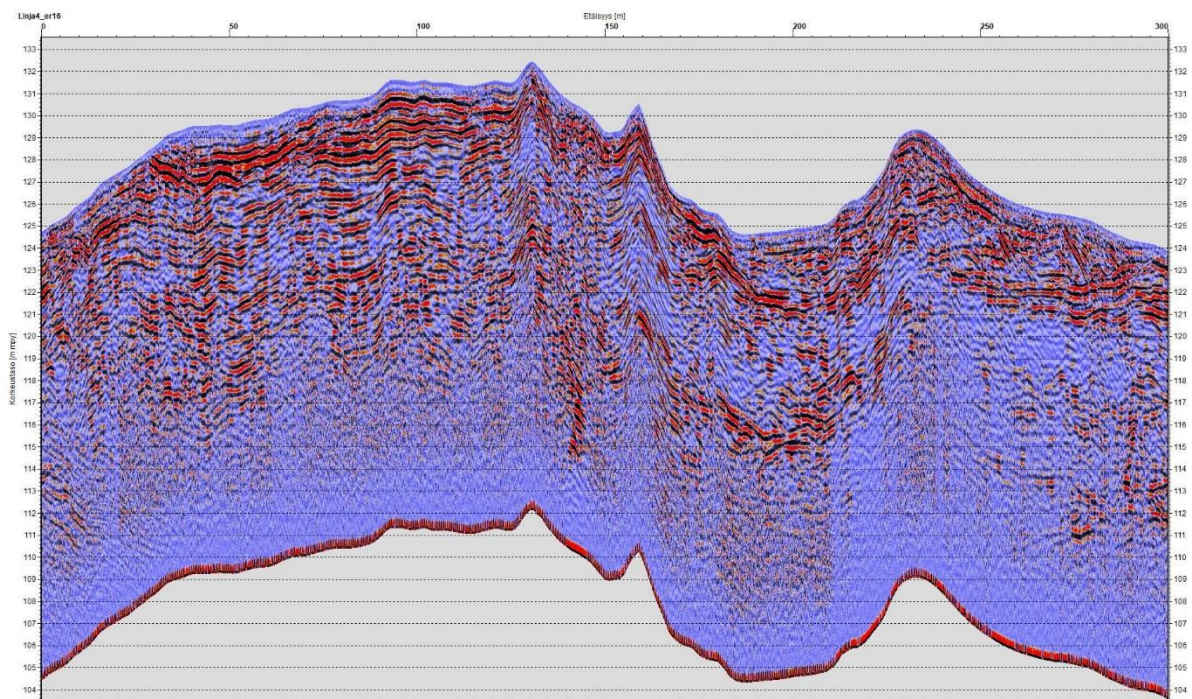
Liite 61: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 3, 300-600m



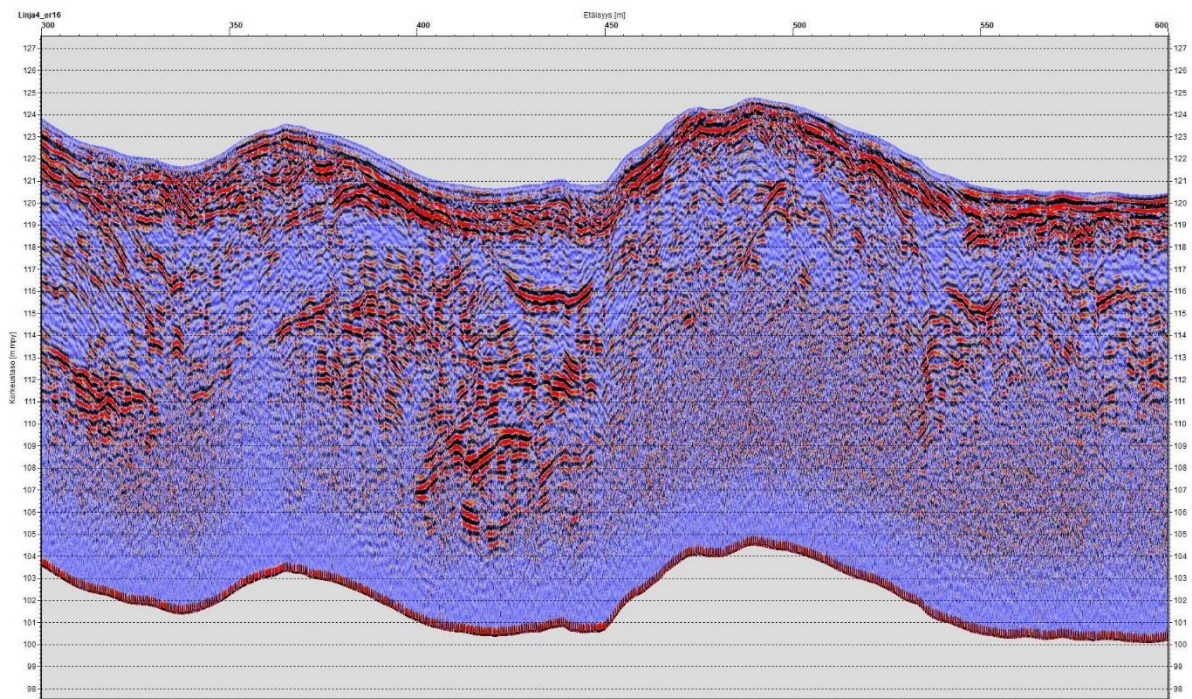
Liite 62: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 3, 600-800m



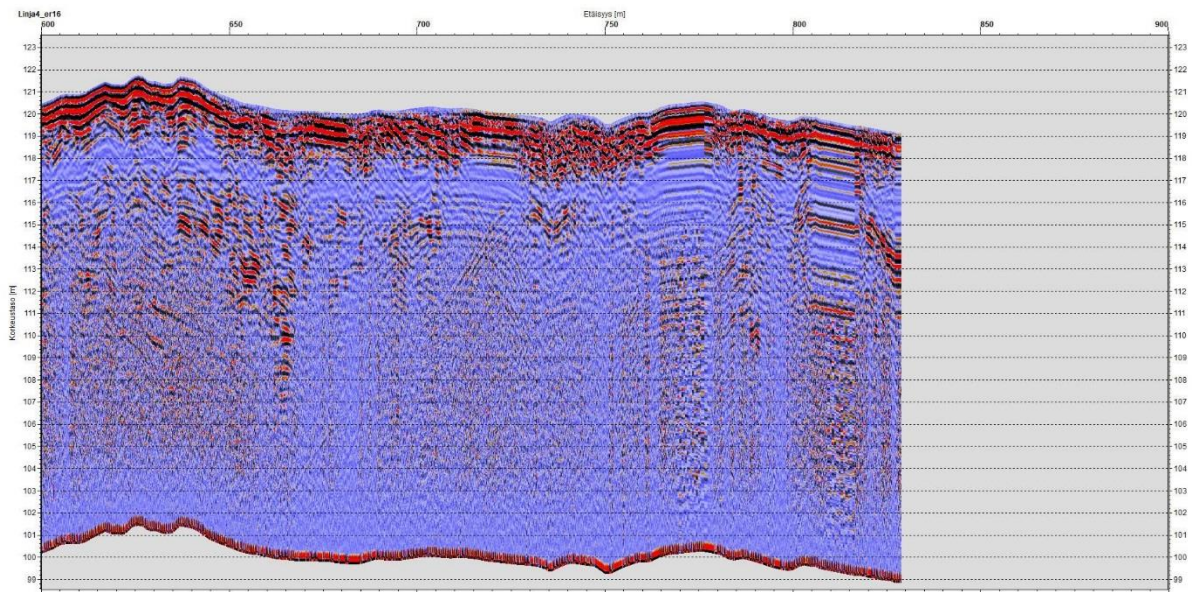
Liite 63: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 4, 0-300m



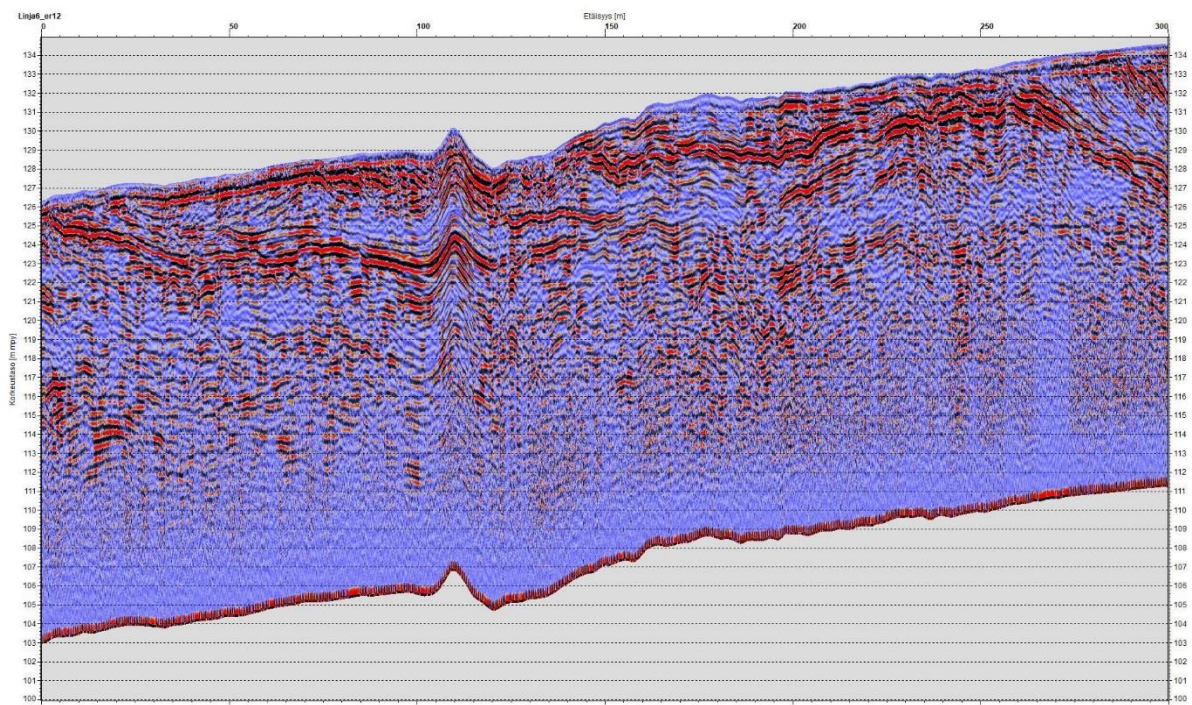
Liite 64: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 4, 300-600m



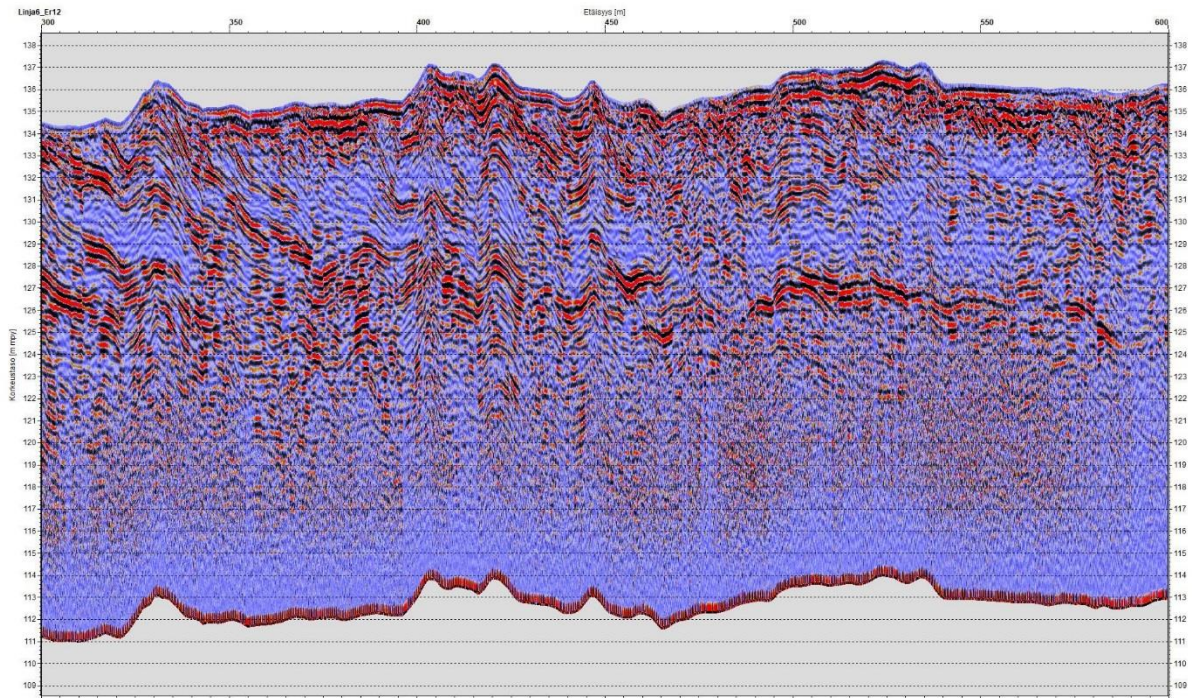
Liite 65: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 4, 600-900m



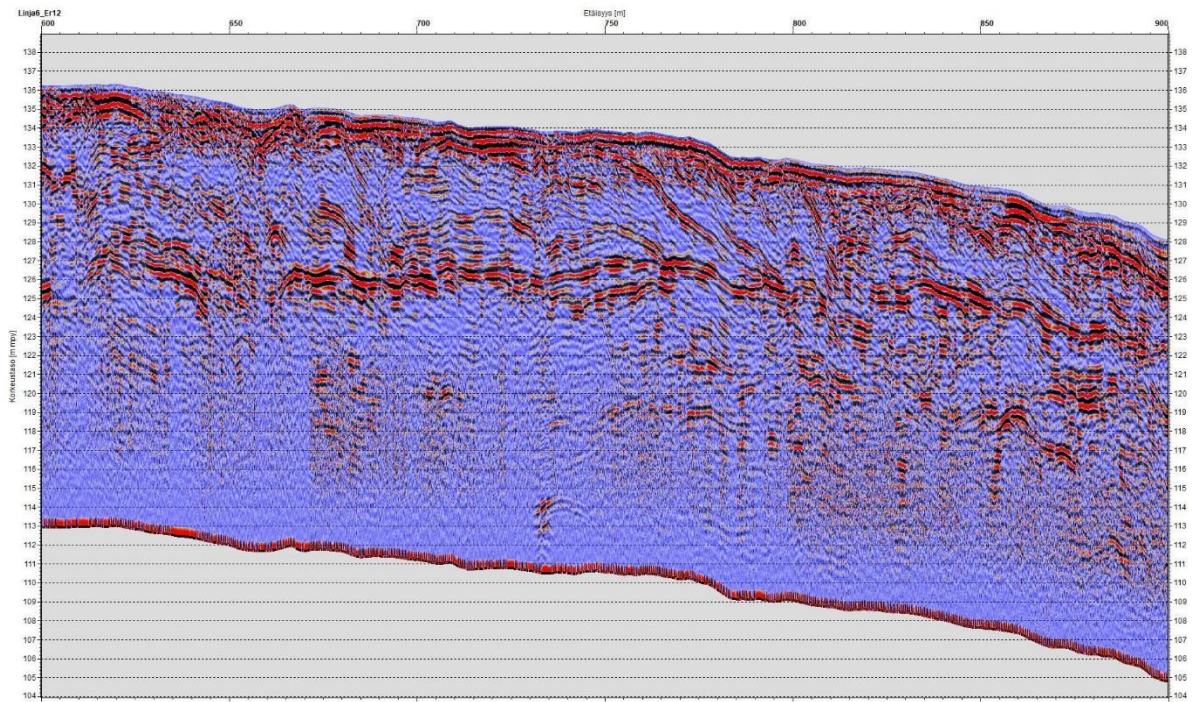
Liite 66: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 6, 0-300m



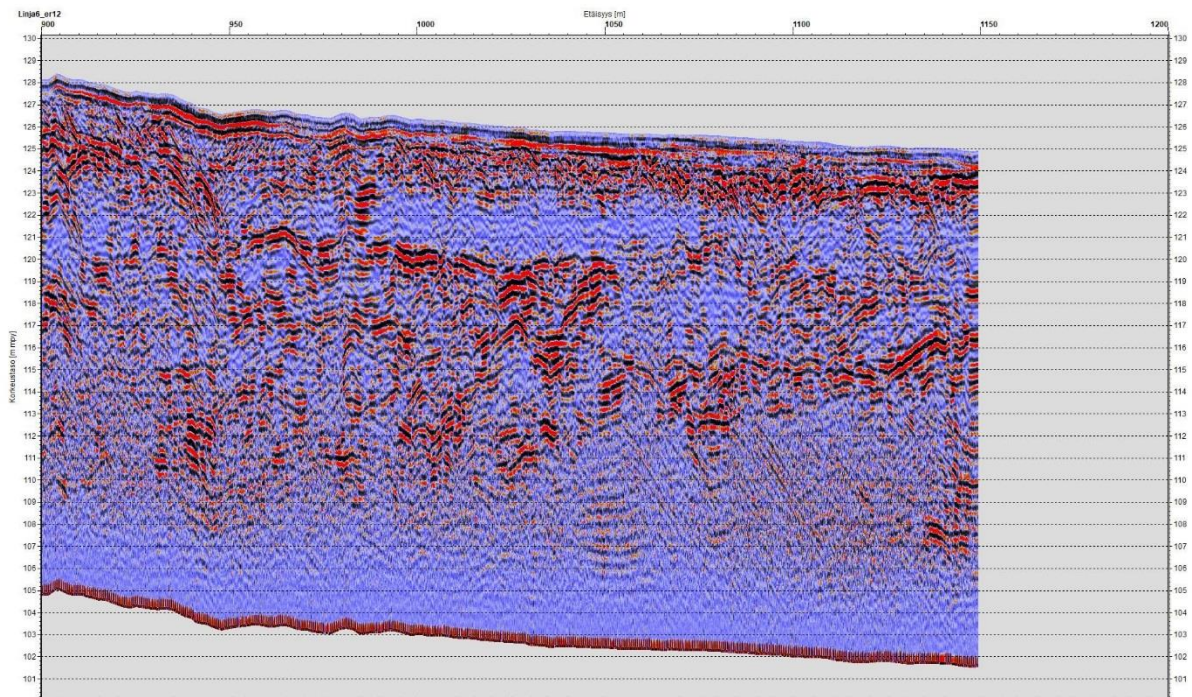
Liite 67: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 6, 300-600m



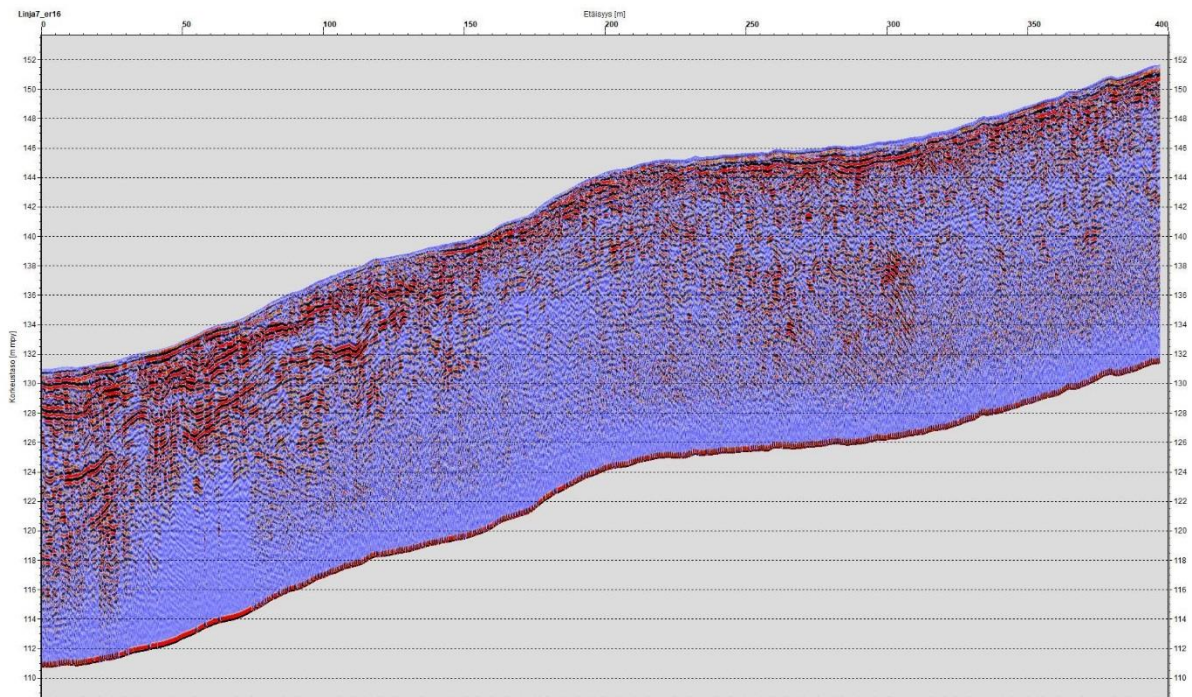
Liite 68: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 6, 600-900m



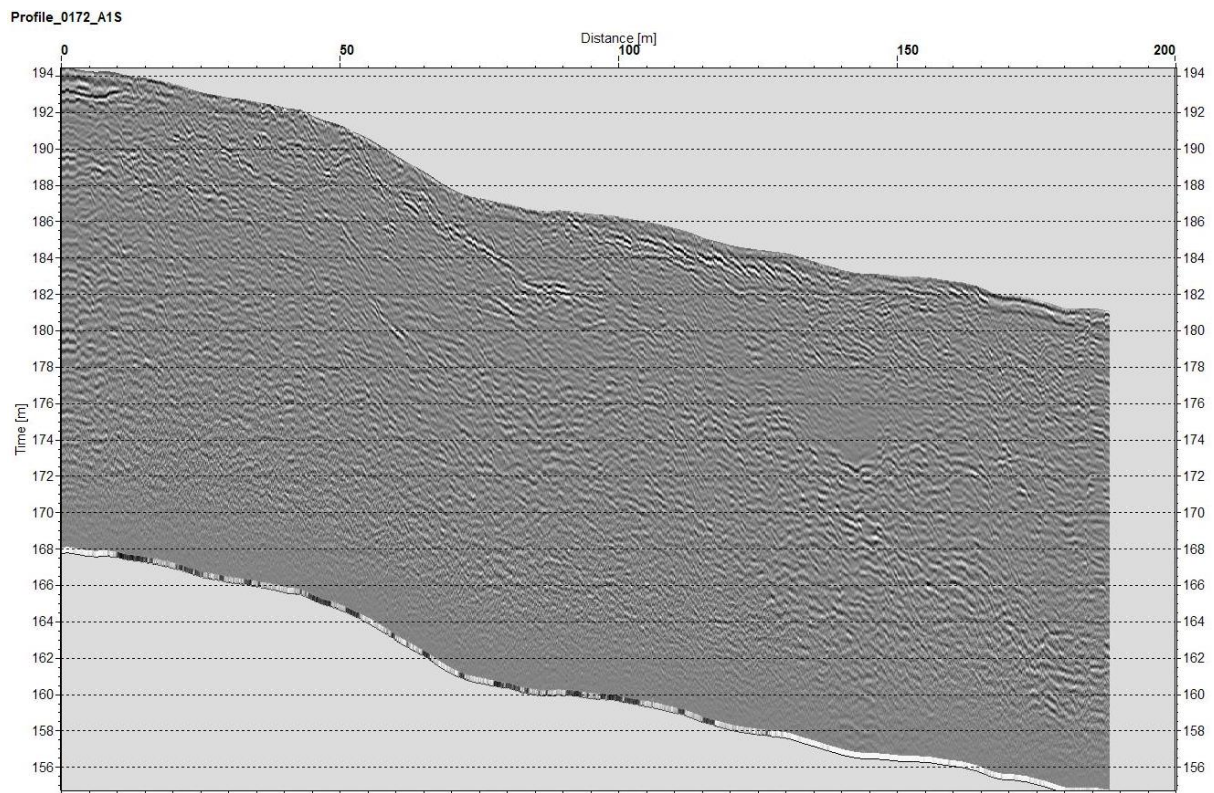
Liite 69: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 6, 900-1200m



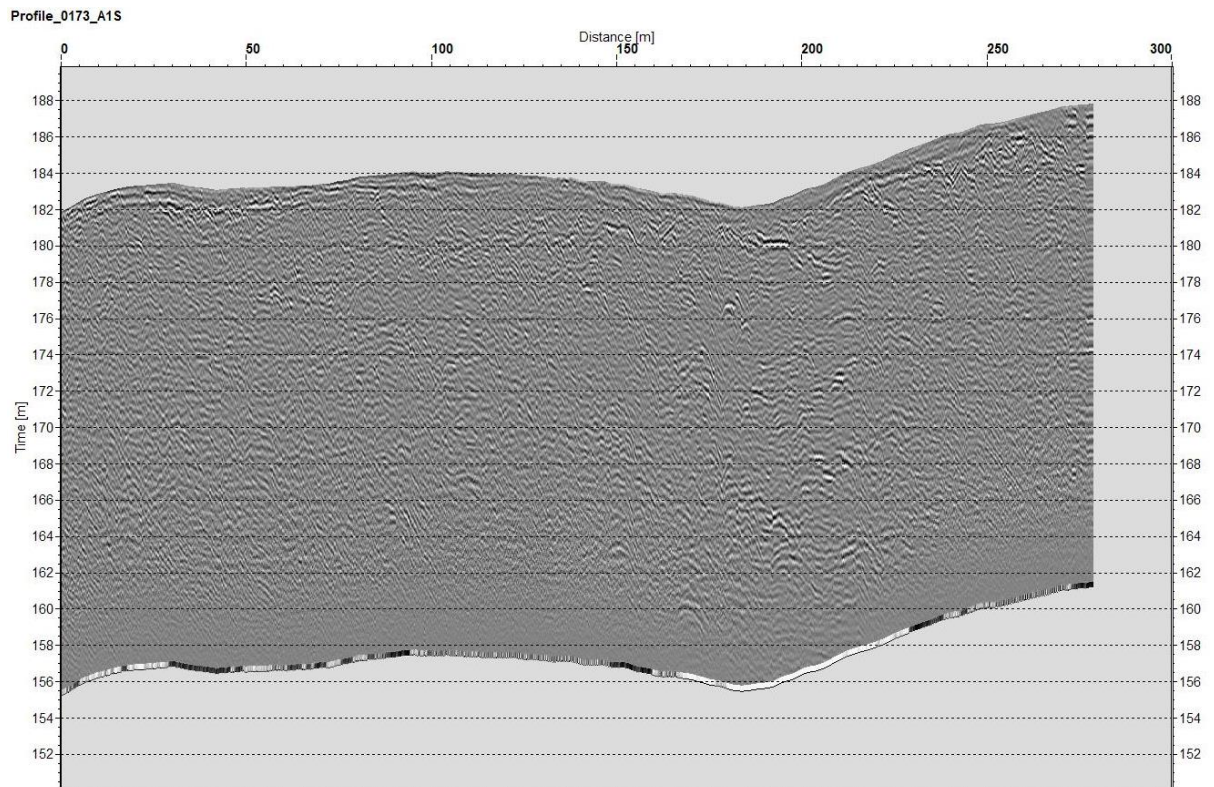
Liite 70: Pellon maatutkaluotausprofiili, linja 7



Liite 71: Rovaniemen maatutkaluotauslinja F172. GTK (2017f).



Liite 72: Rovaniemen maatutkaluotasprofiili, linja F173. GTK (2017f)



Liite 73: Rovaniemen tutkimusalueen maatulkuutusprofiili, linja F180. GTK (2017f)

