

Pohjavesialueiden uudelleenrajaus ja –luokittelu
Pohjavesiselvitys neljällä III-luokan pohjavesialueella Suomussalmella

Mari Helin

Pro gradu -tutkielma

Turun yliopisto

Maantieteen ja geologian laitos

8.5.2017

Linja: Maaperägeologia

TURUN YLIOPISTO

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helin Mari: Pohjavesialueiden uudelleenrajaus- ja luokittelu – Pohjavesiselvitys neljällä III-luokan pohjavesialueella Suomussalmella

Pro gradu -tutkielma, 96 s., 2 liitettä

Geologia

Toukokuu 2017

Lakiin vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) lisättiin 1.2.2015 voimaanastunut luku 2a, joka velvoittaa Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset rajaamaan ja luokittelemaan uudelleen Suomen pohjavesialueet. Aiempi ympäristöhallinnon suositukseen perustuva luokitus poistuu vaiheittain. I-, II- ja III-luokkien tilalle tulevat vedenhankinnallisten ominaisuuksien perusteella määritettävät 1- ja 2-luokat, ja E-luokka, johon määritetään sellaiset muodostumat, joiden pohjavedellä on vaikutusta erityisen tärkeiden pohjavesivaikutteisten luontotyyppien säilymisen kannalta.

Neljällä Suomussalmella sijaitsevalla III-luokan pohjavesialueella toteutettiin selvityksiä, joiden perusteella niiden tuleva luokka voidaan määrittää. Pohjavesialueet siirtyvät III-luokasta 2-, 2E- tai E-luokkaan, tai ne poistetaan pohjavesialueluokituksesta. Ohjeellinen pohjaveden muodostumismäärä 2-luokan pohjavesialueelle on 100 m³/vrk, mutta luokitus toteutetaan alueen yleispiirteet huomioivaa tapauskohtaista harkintaa käyttäen. Menetelminä käytettiin paikkatieto- ja maastotarkastelua, maatulkuotauksia, maaperäkairauksia ja antoisuuspumppauksia. Indikaattorilajiston avulla tunnistettiin tärkeiden ekosysteemien esiintymistä.

Muodostuvan pohjaveden määrä arvioitiin laskennallisesti pohjaveden muodostumisalueelle määritetyn pinta-alan, sadannan ja maaperän vedenjohtavuuden perusteella. Selvityksen yhteydessä toteutettiin lisäksi antoisuuspumppauksia kahdella muodostumista. Pohjavesialueista kolmelle suositetaan luokituksesta pudottamista niiden huonosti vettä johtavan maa-aineksen, akviferin epäyhtenäisyyden tai veden huonon laadun perusteella. Yhtä alueista esitetään E-luokan pohjavesialueeksi, sillä se ylläpitää luonnontilaisen kaltaisen puronvarren pohjavedestä riippuvaista ekosysteemiä, ja sen laidoilla on pohjaveden purkautumispaikkoja.

Asiasanat: Pohjavesiselvitys, lakimuutokset, maatulkuotaukset, indikaattorilajisto, ELY-keskukset

Sisällysluettelo

1.	Johdanto.....	1
2.	Pohjavesialueiden uudelleenrajauksen ja -luokittelun syyt ja peruseriaatteet.....	4
2.1.	Lakimuutokset.....	4
2.2.	Rajauksen toteutus.....	6
2.3.	Ympäristönäkökulma.....	8
2.3.1.	E-luokan tarkoitus.....	8
2.3.2.	Tärkeiden ekosysteemien määrittelyminen.....	9
3.	Tutkimusalueet.....	11
3.1.	Geologiset yleispiirteet.....	11
3.1.1.	Kallioperä.....	11
3.1.2.	Deglasiaatiohistoria.....	13
3.2.	Kirkkosärkät.....	16
3.3.	Sikahaaro.....	17
3.4.	Lauttalammenharju.....	19
3.5.	Hanhisuonharju.....	20
4.	Aineisto ja menetelmät.....	21
4.1.	Pohjavesialueiden karttatarkastelu ja aiempien tutkimusten ja selvitysten aineistot.....	21
4.2.	Maatutkaluotaukset.....	23
4.3.	Maastotarkastelu.....	26
4.4.	Kairaukset.....	27
4.5.	Antoisuuspumppaukset ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi....	29
4.6.	Tärkeiden ekosysteemien tunnistukseen käytettävät menetelmät.....	32
5.	Tulokset.....	33
5.1.	Karttatarkastelu ja aiemmat tutkimukset.....	33
5.1.1.	Kirkkosärkät.....	33
5.1.2.	Sikahaaro.....	34
5.1.3.	Lauttalammenharju.....	35
5.1.4.	Hanhisuonharju.....	36
5.2.	Maatutkaluotaukset.....	37
5.2.1.	Kirkkosärkät.....	37
5.2.2.	Sikahaaro.....	38
5.2.3.	Lauttalammenharju ja Hanhisuonharju.....	40
5.3.	Maastotarkastelu.....	41
5.3.1.	Kirkkosärkät.....	41
5.3.2.	Sikahaaro.....	42
5.3.3.	Lauttalammenharju.....	44
5.3.4.	Hanhisuonharju.....	48
5.4.	Kairaukset.....	50
5.4.1.	Kirkkosärkät.....	50
5.4.2.	Sikahaaro.....	51

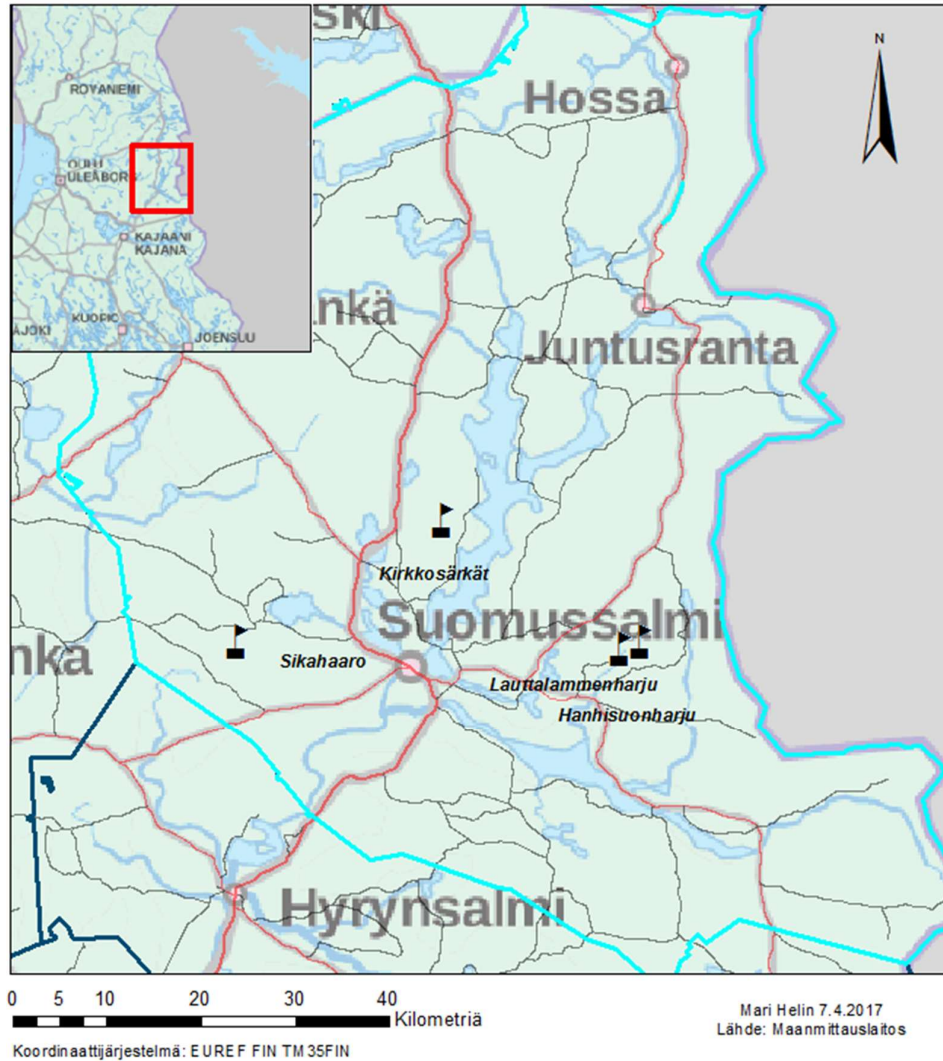
5.4.3. Lauttalammenharju.....	54
5.4.4. Hanhisuonharju	56
5.5. Antoisuuspumppaukset	57
5.5.1. Sikahaaro	57
5.5.2. Lauttalammenharju.....	59
6. Tulosten tulkinta	60
6.1. Kirkkosärkät	60
6.1.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet	60
6.1.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosystemeihin	62
6.1.3. Uusi rajausta ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi.....	62
6.2. Sikahaaro.....	64
6.2.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet	64
6.2.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosystemeihin	69
6.2.3. Uusi rajausta ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi.....	70
6.3. Lauttalammenharju	72
6.3.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet	72
6.3.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosystemeihin	75
6.3.3. Uusi rajausta ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi.....	79
6.4. Hanhisuonharju.....	81
6.4.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet	81
6.4.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosystemeihin	83
6.4.3. Uusi rajausta ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi.....	83
7. Johtopäätökset.....	84
7.1. Pohjavesialueiden uudelleenluokittelu.....	84
7.1.2. Kirkkosärkät.....	84
7.1.3. Sikahaaro	85
7.1.4. Lauttalammenharju.....	86
7.1.5. Hanhisuonharju	87
7.2. Jatkotutkimustarpeet ja pohjavesiselvityksen puutteet.....	87
7.2.1. Kairausten ja maaperänäytteenoton virhelähteitä.....	87
7.2.2. Taloudelliset rajoitteet	89
7.2.3. Sikahaaro	89
7.2.4. Lauttalammenharju.....	89
8. Kiitokset.....	90
Lähteet	91
LIITTEET	

1. Johdanto

Laissa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (30.12.2004/1299) tapahtuneet muutokset edellyttävät elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksilta Suomen pohjavesialueiden uudelleenrajausta ja -luokittelua. Ympäristöhallinnossa on 1970-luvulta saakka ollut vakiintunut käytäntö tehdä rajauksia ja luokitella pohjavesialueita niiden vedenhankinnallisten ominaisuuksien perusteella, mutta lakiin pohjautuvaa velvoitetta ei ole ollut. Suomen ympäristökeskuksen ohjeistukset rajausmenettelyn käytänteistä ovat aiemminkin pohjautuneet pohjaveden suojelua koskevaan lainsäädäntöön (Hallituksen esitys 101/2014), jossa vastaavasti viitataan pohjavesialueluokkiin niitä koskevan sääntelyn yhteydessä.

Aiemmin käytössä ollut luokitus poistuu asteittain, ja I-, II- ja III-luokkien tilalle tulevat 1-, 2- ja E-luokat. Uudessa luokituksessa 1- ja 2-luokat vastaavat edellisen luokittelun I- ja II-luokkia, kun taas E-luokkaan määritetään ne pohjavesialueet, joiden pohjavedellä on merkitystä tärkeiden pintavesi- tai maaekosysteemien kannalta (Vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY). Koska uudessa luokittelussa ei ole vastinetta III-luokalle, erityistä huomiota kiinnitetään näihin muiksi pohjavesialueiksi ryhmiteltyihin kohteisiin. Mikäli niiden ominaisuudet osoittautuvat yhdyskuntien vedenhankintaan soveltuviksi, ne voidaan nostaa 2-luokkaan. Jos pohjavedellä on vaikutusta tärkeisiin ekosysteemeihin, alue määritetään E-luokkaan. Muussa tapauksessa pohjavesialue putoaa luokituksesta. Koska III-luokan pohjavesialueiden merkitys on suurella todennäköisyydellä yhdyskuntien vedenhankinnan kannalta vähäinen tulevaisuudessakin, selvityksillä pyritään saamaan rajauksen toteuttamisen kannalta riittävän hyvä yleiskuva pohjavesiesiintymistä mahdollisimman pienillä kustannuksilla.

Uuden lainsäädännön mukaista luokittelua ja rajausta varten neljällä Kainuun ELY-keskuksen alueella sijaitsevalla, vanhentuvassa luokittelussa III-luokkaan ryhmitellyllä suomussalmelaisella pohjavesialueella tehtiin selvityksiä vuosina 2015 ja 2016. Pohjavesialueet siirretään tulosten arvioinnin myötä 2-, E- tai 2E-luokkiin, tai ne poistuvat pohjavesialueen luokituksesta. Selvityskohteet ovat Suomussalmen keskustaajaman pohjoispuolella sijaitseva Kirkkosärkät, kunnan länsiosassa oleva Sikahaaro ja kaksi valtakunnan itärajan läheisyydessä, Raatteessa sijaitsevaa pitkänomaista muodostumaa, Lauttalammenharju ja Hanhisuonharju (kuva 1).



Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti Suomussalmen kunnan alueella (Maanmittauslaitos 2017a).

Aiempiä tutkimustuloksia, paikkatietoaineistoja ja karttatarkastelua hyödyntäen alueilla toteutettiin maatulkuotukset loppuvuodesta 2015. Luotausprofiilien ja maastotarkastelun perusteella suunniteltiin pisteet maaperäkairauksia varten. Kairausten tavoitteena oli selvittää pohjaveden- ja kallionpinnan taso ja maa-aineksen soveltuvuus pohjaveden muodostumisen kannalta. Kairaukset toimivat myös referenssinä maatulkuotustulkinnoille, joita tarkennettiin kairaustulosten pohjalta. Kairausten yhteydessä asennettiin yksi pohjavesiputki.

Kahdella kairausten perusteella soveltuvaksi arvioidulla kohteella toteutettiin antoisuuspumppaukset vedenhankinnallisten ominaisuuksien selvittämiseksi. E-luokan määrittämistä varten maastokäynneillä kartoitettiin merkkejä tärkeiden pohjavesiriippuvaisten pintavesi- ja maaekosysteemien olemassaolosta alueilla.

Etsimme erityisesti lähteisyyttä ilmentävää indikaattorilajistoa, sillä pohjaveden purkautuessa suuriin vesistöihin pohjavesivaikutuksen arviointi vaatii perinpohjaisia tutkimuksia virtaamista ja veden kemiallisista ominaisuuksista (Pudas ja Siiro 2016), mitä tämän selvityksen toteuttamiseen käytössä olevat resurssit eivät mahdollistaneet.

Aiempi rajaus on toteutettu karttatarkastelun ja maastokäyntien perusteella. Pohjavesialueen on katsottu rajautuvan vettä läpäisemättömään maa-aineskerrokseen, kuten saveen, tai kallioon. Päätelmät maa-aineksen laadusta on usein tehty maa-aineksenottopaikoilta tai tieleikkauksista havaittujen rakenteiden perusteella ilman tarkempia selvityksiä (Britschgi et al. 2009). Edellisen kerran pohjavesialueiden rajaukset on POVET-tietokannan mukaan tarkastettu 1995. Tutkimusalueet ovat 2010 – 2012 olleet osa Kainuun Poski 2-hanketta, jolla on pyritty sovittamaan yhteen maa-ainesten hyödyntämistä ja luonnon- ja kulttuuriympäristöjen suojelua.

Selvityskohteet sijaitsevat Fennoskandian kilven arkeisen kallioperän alueella, jonka maaperä on muokkaantunut noin 11 700 vuotta sitten päättyneen Veiksel-jääkauden aikana (Cohen et al. 2013). Kaikki pohjavesialueista ovat olleet vedenpinnan yläpuolella edellisen deglasiation aikana ja sen jälkeen (Eronen ja Haila 1992). Oulujärven pohjoispuolella korkein ranta on määritetty noin 200 m mpy, ja se on syntynyt Ancyliusjärvi-vaiheessa 10 800 – 9000 vuotta sitten (Eronen ja Haila 1981; Saarnisto 2000; Ojala ja Palmu 2007).

Tämän selvityksen, kuten muissakin ELY-keskuksissa käynnissä olevien rajaus- ja luokitteluprosessien tarkoituksena on perinteisten pohjavesiselvitysten lisäksi hakea suuntaviivoja uudistuneen, joiltain osin tulkinnanvaraisen lainsäädännön mukaisille toimintamalleille. Ensimmäistä kertaa pohjavesialueita käsitellään vedenhankinnallisen näkökulman ohessa myös kokonaisina ekosysteeminä, mikä vaatii rajausta toteuttavilta asiantuntijaryhmiltä poikkitieteellistä osaamista enemmän kuin aiempien, pitkälti hydrogeologiaan perustuneiden ohjeistusten aikana. Erityisen haastavaksi voi siirtymävaiheessa, jolloin kaksi luokittelua on voimassa rinnakkain, muodostua sellaisten III-luokkaan kuuluneiden pohjavesialueiden uudelleenluokittelu, joiden vedenhankinnalliset ominaisuudet eivät täytä 2-luokan ehtoja, mutta joilla on selkeä vaikutus tärkeiden pohjavesivaikutteisten ekosysteemien säilymisen kannalta. Lainsäädännön monitulkintaisuuden vuoksi tarvitaan uudelleenrajausta ja -luokittelua toteuttavan työryhmän yleinen linjaus siitä, kuuluvatko tällaiset pohjavesiesiintymät E-luokkaan.

2. Pohjavesialueiden uudelleenrajauksen ja -luokittelun syyt ja peruseriaatteet

2. 1. Lakimuutokset

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) muuttui 1.2.2015 siten, että siihen lisättiin pohjavesialueita käsittelevä luku 2a. Momentissa 10a määrätään, että elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten tulee määrittää pohjavesialueille muodostumisalueen rajat ja uloin raja alueelle, jolla on merkitystä pohjaveden laadun tai sen muodostumisen kannalta. Lakimuutos on seurausta eduskunnan uusimman vesilain (587/2011) yhteydessä hyväksymästä lausumasta (Eduskunta 2010), jossa hallitus veloitetaan selvittämään pohjavesialueiden kartoitukseen, luokitukseen ja käyttöön liittyvät lainsäädännölliset ja menettelylliset kehittämistarpeet. Lainmukaiseksi päivitetty asetus vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä astui voimaan 1.11.2016.

Vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) liitteen II luvussa 2 säädetään, että jäsenvaltioiden tulee tehdä alueellaan sijaitseville pohjavesimuodostumille ominaispiirteiden alkutarkastelu, jonka yhteydessä selvitetään pohjavesivesimuodostumien sijainti, niiden rajat ja niihin kohdistuvat riskitekijät. Samassa luvussa veloitetaan myös määrittämään pohjavedestä riippuvaiset pintavesi- ja maaekosysteemit, mikä on perustana E-luokan lisäämiselle uuteen luokitukseen. Ominaispiirretarkastelua varten pohjavesialueita voidaan yhdistää ryhmiä. Niille pohjavesialueille, joiden osalta on alkutarkastelun perusteella epävarmaa, saavutetaanko ympäristötavoitteita, tulee tehdä tarkentavia ominaispiirteiden lisätarkasteluja. Rajattavia pohjavesimuodostumia ovat sellaiset pohjavesiesiintymät, joista vettä voidaan ottaa keskimäärin yli 10 m³ päivässä tai vähintään 50 ihmisen tarpeisiin.

Lakimuutoksen tarkoituksena on tehostaa pohjavesien suojelua ja parantaa eri toimijoiden oikeusturvaa käytäntöjen yhdenmukaistamisen myötä. Tähän saakka pohjavesialueiden luokittelu ja rajaus on ollut ohjeistuksiin pohjautunut, vakiintunut käytäntö ympäristöhallinnossa (Hallituksen esitys 101/2014). Ohjeistukset ovat perustuneet osin vanhentuneeseen pohjaveden suojelua koskevaan lainsäädäntöön, mutta rajaukseen ja luokitteluun ei ole ollut yksityiskohtaista ja laissa määriteltyä toimintamallia. Eniten pohjaveden suojelua on käsitelty ympäristönsuojelulaissa (527/2014) ja -asetuksessa (713/2014) sekä vesilaissa (587/2011), joissa pohjaveden vaarantaminen kielletään pohjaveden pilaamiskiellolla (Ympäristönsuojelulaki 2:17) ja

pohjaveden muuttamiskiellolla (Vesilaki 3:2). Vastaavat kiellot ovat löytyneet myös nykyistä lainsäädäntöä edeltävästä säännöskokoelmasta. Ohjeistukset ovat lisäksi perustuneet jossain määrin maa-aineslakiin, jätelakiin, terveydensuojelulakiin, kemikaalilakiin, maankäyttö- ja rakennuslakiin, öljyvahinkojen torjuntalainsäädäntöön ja valtioneuvoston periaatepäätöksiin.

Aiemmin käytössä ollut pohjavesialueiden luokitus poistuu vaiheittain, ja I-, II- ja III-luokkien sijasta pohjavesialueet rajataan 1-, 2- ja E-luokkiin. Vanhentuva luokitus ja uusi luokitus ovat vähintään kolmen vuoden siirtymäajan voimassa rinnakkain, kunnes kaikkien pohjavesialueiden luokittelu ja rajaaminen on tarkastettu. Arabialaisin numeroin merkityt 1- ja 2-luokat korvaavat entisiä roomalaisin numeroin merkittyjä I- ja II-luokkia. Vesienhoitolain luvun 2a mukaan 1-luokan pohjavesialueet ovat sellaisia pohjavesimuodostumia, joista otetaan tai aiotaan ottaa pohjavettä vähintään 10 m³ vuorokaudessa tai yli 50 ihmisen tarpeisiin. 2-luokan pohjavesialueet ovat muita vedenhankintaan soveltuvia pohjavesialueita, jotka antoisuutensa tai muiden ominaisuuksiensa puolesta soveltuvat tulevaisuudessa vastaavanlaiseen käyttöön kuin 1-luokan pohjavesialueet. 2-luokan pohjavesialueella tulee muodostua pohjavettä keskimäärin vähintään 100 m³ vuorokaudessa, kun II-luokassa vaatimus oli 250 m³. Tämän vuoksi osa III-luokan pohjavesialueista siirtyy vedenhankinnallisten ominaisuuksiensa perusteella luokkaan 2, vaikka arvio muodostuvan pohjaveden määrästä pysyisi samana. E-luokkaan rajataan sellaiset pohjavesialueet, joilla on merkitystä pohjavedestä riippuvaisten tärkeiden ekosysteemien tilaan. Mikäli 1- tai 2-luokan pohjavesialueilla nämä ehdot toteutuvat, luokitellaan ne 1E- tai 2E-luokkaan.

Entisen III-luokan pohjavesialueet joko poistetaan luokitukselta tai luokitellaan uudelleen (Hallituksen esitys 101/2014). Mikäli niiden pohjavedellä ei ole merkitystä pintavesi- tai maaekosysteemien toiminnalle eivätkä ne sovellu vedenhankintaan, niitä ei luokitella enää muina pohjavesialueina. Jos muodostuman pohjavesi kuitenkin on jonkin alueen vedenhankinnan kannalta merkityksellistä, voidaan muodostuma luokitella pohjavesialueeksi, vaikkei se muutoin vastaisikaan 2-luokan pohjavesialueen määritelmää. Kun soveltuvuutta vedenhankintakäyttöön arvioidaan, huomioidaan myös pohjavesialueen sijainti. Esimerkiksi Pohjois-Suomen harvaanasutuilla alueilla tarve uusille vedenottamoille on vähäisempi kuin taajamissa. Manner-Suomessa oli vuonna 2008 2477 III-luokan pohjavesialuetta, ja suurin osa Suomen pohjavesialueista sijaitsee Lapin ELY-keskuksen alueella (Britschgi ja Rintala 2016), missä myös resurssit rajaamiseen ovat pienet.

Rajaamiseen ja luokitteluun kuuluvaan menettelyyn sisältyy osallistumismahdollisuus, ja niin halutessaan yksityiset toimijat voivat tuoda menettelyissä julki näkemyksiään (Hallituksen esitys 101/2014). Koska perusteet pohjavesialueiden rajaukselle yhdenmukaistuvat valtakunnallisella tasolla, myös pohjavesialueiden vaikutus niiden alueella toimivien tahojen kannalta selkiintyy. Tämän toivotaan muun muassa edistävän työllisyyttä pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Hallituksen esityksessä (2014) todetaan, että pohjavesialueiden ominaispiirteiden tarkastelulle on tarvetta erityisesti Pohjois-Suomessa, missä vaillinaisesti tutkittujen ja sijainniltaan syrjäisten pohjavesialueiden määrä on korkea. Harvaan asutuilla alueilla pohjaveden hyödyntämiseen kohdistuva paine on pientä, joten eturistiriitoja vedenoton ja muun, mahdollisesti korkeaa työttömyysastetta laskevan maankäytön välillä ei ole odotettavissa yhtä paljon kuin tiheään asutuilla alueilla, joilla joudutaan hyödyntämään myös tuotoltaan vähäisempien tai laadultaan heikompien muodostumien pohjavettä.

2.2. Rajauksen toteutus

Vesienhoitoasetuksen (30.11.2006/1040) muutossäädöksen, luvun 2a (10.11.2016/929) 8 d §:ssä edellytetään, että pohjavesialueen rajojen määrittämisen tulee perustua parhaaseen saatavilla olevaan hydrogeologiseen tietoon. Tämä tarkoittaa myös sitä, että rajausta ja luokittelua on jatkossakin kyettävä muuttamaan pohjavesigeologisen tutkimuksen kehittyessä, kuten vesienhoitolain (30.12.2004/1299) muutossäädöksessä luku 2 (19.12.2014/1263) säädetään.

Pohjavesialueelle määritetään muodostumisalueen raja ja vaikutusalueen raja, kuten käytäntönä on aiemminkin ollut. Pohjavesialueet jaetaan antikliinisiin, eli ympäristönsä vettä purkaviin, ja synkliinisiin, eli ympäristöstään vettä kerääviin (Johnstone 1797). Muodostuman tyyppillä on vaikutusta rajauksen toteuttamisen kannalta. Suomen ympäristökeskuksen ohjeluonnoksessa (2016) linjataan, että varsinainen muodostumisalue käsittää vettä johtavat maa-ainekerrokset, jotka mahdollistavat pohjaveden imeytymisen, ja ne pohjavesialueen osat, jotka oleellisesti lisäävät muodostuvan pohjaveden määrää. Synkliiniseen harjuun voi esimerkiksi valua vettä viereiseltä kallionharjanteelta, jolloin muodostumisalueen raja vedetään siihen kallion kohtaan, jolta vesi voi virrata muodostumaan. Samoin toimitaan pohjavesialueeseen vaikuttavien moreenimuodostumien kohdalla. Mikäli pohjavettä johtavat maaperäkerrokset ulottuvat vesistöalueen reunalle, muodostumisalueen raja

määritetään rantaviivaan. Tarpeen vaatiessa pohjaveden muodostumisalueen raja voidaan vetää maastossa selkeästi erottuvaan kohtaan.

Vaikutusalue rajataan siten, että sen sisään jäävällä alueella on vaikutusta pohjaveden muodostumisen tai laadun kannalta. Se rajautuu vettä läpäisemättömiin pintoihin, kuten tiiviiseen savikerrokseen tai kallioon. Siinä missä muodostumisalueen raja määritetään sellaiseen maaston kohtaan, johon pohjavettä johtavat maa-aineskerrokset maanpinnalta tarkasteltuna päättyvät, vaikutusalueen raja kulkee tyypillisesti siinä kohdassa, missä maanpinnan ja vettä johtavan aineksen välissä on 3 m paksuinen kerros vettä johtamatonta materiaalia.

Synkliinisellä pohjavesialueella, jonka muodostumisalue käsittää myös aiemmin kuvailtuja maaston kohoumia, joilta tuleva valuma lisää pohjaveden määrää muodostumassa, vaikutusalueen raja sijaitsee valunnan tulosuunnassa samalla kohdalla muodostumisalueen rajan kanssa. Koska jo muodostumisalue näissä tapauksissa rajautuu vettä pidättävään pintaan, kuten kallioon, reunavyöhykkeen määrittäminen ei ole tarpeenmukaista.

Synkliinisen pohjavesialueen rajautuessa vesistöön, vaikutusalueen raja vedetään kyllin kauas vesialueelle, jotta ranta-alueella tapahtuvat toimet ovat pohjavesien suojeluperiaatteiden rajoittamat. Rajanveto perustuu maa-ainekselle ominaiseen imeytymiskertoimeen, pintaveden laatuun, vesistön muotoon sekä mahdollisten pohjaveden laatua uhkaavien toimijoiden sijaintiin (Britschgi ja Rintala 2016). Epätarkkuustekijöiden, kuten vuodenaikaisvaihtelujen vuoksi vaikutusalueen raja tulee määrittää vesistöön aina tapauskohtaisesti kunkin pohjavesialueen ja sitä ympäröivien vesistöjen ominaisuudet ja alueiden maankäyttö huomioiden. Riittävä reunavyöhykkeen leveys on noin 50 – 200 m rantaviivasta, mutta mikäli alueella on rantaimeytystä hyödyntävä vedenottamo, vaikutusalueen raja voi tarvittaessa ulottua tätäkin kauemmas vesialueelle. Antikliinisen muodostuman rajautuessa vesialueeseen, vaikutusalueen raja voidaan määrittää rantaviivan välittömään läheisyyteen, joten reunavyöhyke on näissä muodostumissa synkliinisen pohjavesialueen vastaavaa huomattavasti kapeampi.

Toisistaan kalliokynnyksillä tai vettä huonosti johtavilla kerroksilla erottuvat pohjavesimuodostumat voidaan rajata geologisena kokonaisuutena pohjavesialueeksi. Mikäli pohjavesialue on sellainen, ettei sille saada määritettyä rajoja, voidaan se määrittää pistemäisenä. Tällaisia muodostumia ovat muun muassa savenalaiset pohjavesiesiintymät, joiden antoisuus on pohjavesialueen määritelmän täyttävä, mutta

virtausolot ovat vaihtelevat tai vaikeasti määritettävissä. Savikkojen alla olevia pohjavesimuodostumia esiintyy lähinnä alavalla länsi- ja lounaisrannikolla, jossa niitä on helpommin hyödynnettävien muodostumien vähyyden vuoksi käytetty myös vedenhankintaan (Britschgi et al. 2009).

2.3. Ympäristönäkökulma

2.3.1. E-luokan tarkoitus

Vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) edellyttää pohjavesistä riippuvaisten maa- ja pintavesiekosysteemien huomioimista. Kansallisella tasolla direktiivin velvoitetta toteutetaan vesienhoitolain muutoksella, jolloin direktiivin suuntaviivat täsmentyvät myös lainsäädännön tasolla. Ympäristöministeriön asettama työryhmä toivoi loppuraportissaan 2012 täsmennyksiä uuden E-luokan määritelmään.

Vesienhoitoasetuksen luvun 2 momentissa 3 ja uudistetun vesienhoitolain luvun 2a momentissa 10b käsitellyillä pohjavedestä riippuvaisilla pintavesiekosysteemeillä tarkoitetaan sellaisia pintavesialueita, joihin pohjavettä purkautuu niin merkittäviä määriä, että sillä on merkitystä ekosysteemin säilymisen ja suojelun kannalta. Pohjavedestä riippuvaisia maaekosysteemeitä ovat muun muassa lähteet, lähdepurot ja -lammet ja lähdevaikutteiset suot.

Aiemmin pohjavesialueet on luokiteltu ensisijaisesti vedenhankinnallisten ominaisuuksien perusteella. Vaikka pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia on laadittu, ne ovat yleensä tähdänneet hyödynnettävissä olevien pohjavesivarojen käyttökelpoisuuden ja riittävyyden turvaamiseen. Valtioneuvoston vesienhoitoasetuksen (2006/1040) marraskuussa 2016 uudistuneessa pykälässä 8c (2016/929) säädetään, että mikäli "tässä pykälässä tarkoitettut määritettävät pohjavesialueet täyttävät vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain 10 b §:n 1 momentissa säädetyt perusteet, ja sen lisäksi ne ylläpitävät edellä tässä pykälässä tarkoitettua ekosysteemiä, niille voidaan lisätä E-merkintä (1E tai 2E). Muut 1–2 momentissa tarkoitettut pohjavesialueet luokitellaan luokkaan E."

Vesienhoitolain ensimmäinen momentti määrittää ominaisuudet, jotka 1-luokan pohjavesialueella on oltava., ja toinen momentti 2-luokan pohjavesialueen. Se, mihin asetuksessa viitataan muilla 1-2 momentissa tarkoitetuilla pohjavesialueilla, jää

tulkinnanvaraiseksi. Marraskuussa 2016 päivitetystä Suomen ympäristökeskuksen oppaassa (Britschgi ja Rintala 2016) todetaan, että pohjavesialueen kriteereiden tulee täytyä, jotta muodostuma voidaan määrittää E-luokkaan. Maaperän on oltava niin läpäisevää, että se mahdollistaa pohjaveden merkittävän virtauksen tai vedenoton. Toisaalta oppaassa käsitellään erikseen tilannetta, jossa 1- tai 2-luokan pohjavesialue saa lisämerkinnän E.

Laki ja siihen pohjautuva ohjeistus on edelleen E-luokan suhteen monitulkintainen. Sen voi ymmärtää siten, että erillistä E-luokkaa ei olisi, sillä pohjavesialueen kriteereiden tulee täytyä, jolloin E-merkintä olisi lisämääre 1- ja 2-luokan pohjavesialueille. Toisaalta 1E- ja 2E-luokittelua käsitellään laissa vielä erikseen, mikä antaa ymmärtää, että joitain pohjavesialueita määritettäisiin E-luokkaan, vaikkeivat ne kuuluisi jo 1- tai 2-luokkiin. Koska vanha luokittelu on voimassa rinnakkain uuden kanssa, eräs tapa tulkita ohjeistusta on käsittää pohjavesialueen kriteerit täyttäväksi muodostumaksi myös vanhan luokituksen mukaiset III-luokan pohjavesialueet, joilla ei ole vedenhankinnallisten ominaisuuksiensa puolesta edellytyksiä 1- tai 2-luokkaan. Lakiuudistuksen tavoitteena olevan toimintatapojen ja -periaatteiden yhdenmukaistamiseksi tarvitaan erityisesti uudelleenluokittelun alkuvaiheessa ELY-keskusten hankkeesta vastaavien työryhmien tapaamisia ja kokemusten vaihtamista.

Hallituksen esityksessä (101/2014) todetaan, ettei pohjavesialueen määrittämisellä E-luokkaan ole itsenäistä oikeusvaikutusta, eli sen rooli on lähinnä informatiivinen. Luokitus tulee kuitenkin ottaa huomioon esimerkiksi lupaprosessin yhteydessä sen mukaan, mitä pohjavedestä riippuvaisista pintavesi- ja maaekosysteemeistä muussa lainsäädännössä säädetään.

2.3.2. Tärkeiden ekosysteemien määrittäminen

Aiemman lainsäädännön perusteella suojellut kohteet tulisi huomioida, kun pohjavesialueita luokitellaan E-luokkaan. EU:n luontodirektiivin (92/43/ETY) liitteen I pinta- ja pohjavesistä riippuvaiset luontotyytit, kuten lähdevaikutteiset suot, ja metsälain 10 §:ssä erityisen tärkeiksi elinympäristöiksi määritellyt purojen ja norojen lähiympäristöt ovat tällaisia erityisesti huomioitavia ekosysteemeitä. Myös vesilain 2-luvun 11 § kieltää eräiden vesiluontotyyppien luonnontilan vaarantamisen. Pohjavesistä suoraan riippuvaisista luontotyypeistä on tässä yhteydessä mainittu lähteet. Pohjavesialueen ei

siten tarvitse sijaita ennestään suojellulla alueella, jotta se voidaan ryhmitellä E-luokkaan. Pohjaveden vaikutus voidaan katsoa merkittäväksi, kun sillä on vaikutusta koko ekosysteemin säilymiseen luonnontilaisena.

Alustava tarkastelu mahdollisesti E-luokkaan siirrettävistä alueista tehdään aiempien tutkimusten aineistoja ja paikkatieto-ohjelmistoja käyttäen. Yleinen linjaus vastuutyöryhmän keskuudessa on se, että pohjatyön perusteella toteutettu maastotarkastelu on ehdottoman tärkeää ekosysteemien luonnontilan määrittämiseksi. Aiemmin kartoittamattomat pohjavesipuhkeamat saatetaan tässä yhteydessä niitä suojelevan lainsäädännön piiriin. Suomen ympäristökeskus (Britschgi ja Rintala 2016) ohjeistaa, ettei pohjavedestä riippuvaisen ekosysteemin tarvitse sijaita pohjavesialueella, jotta sillä on vaikutusta sen pohjavesialueen luokkaan, jonka vesivarat mahdollistavat luontotyyppin elinvoimaisuuden. Ekosysteemin tulee kuitenkin olla suoraan pohjavedestä riippuvainen. Siten luontotyyppit, jotka saavat pohjavettä välillisesti esimerkiksi puron kautta tulevana valumana, eivät vaikuta pohjavesialueen luokkaan. Toisaalta lähdepurojen lähiympäristöt ovat vesilain (2011/587) 2 luvun 11 §:ssä mainittuja tärkeitä elinympäristöjä, joiden perusteella pohjavesialue voidaan määrittää E-luokkaan.

Rajallisten resurssien vuoksi kaikille vaillinaisesti tunnetuille pohjavesialueille ei kuitenkaan ole mahdollista tehdä ekosysteemikartoituksia, joten käytännössä painopiste on niiden pohjavesialueiden tarkastelussa, joilla paikkatietoaineiston valossa voisi olla tärkeitä ekosysteemejä ylläpitäviä pohjavesipuhkeamia. Käytettävien luontotyyppien inventointitietojen ja muiden aineistojen on oltava mahdollisimman ajantasaisia, ja muista alueella meneillään olevista hankkeista, kuten pienvesi-inventoinneista, saavat tulokset voivat olla hyödyllisiä tarkasteltaessa pohjavesialueen soveltuvuutta E-luokkaan (Britschgi ja Rintala 2016).

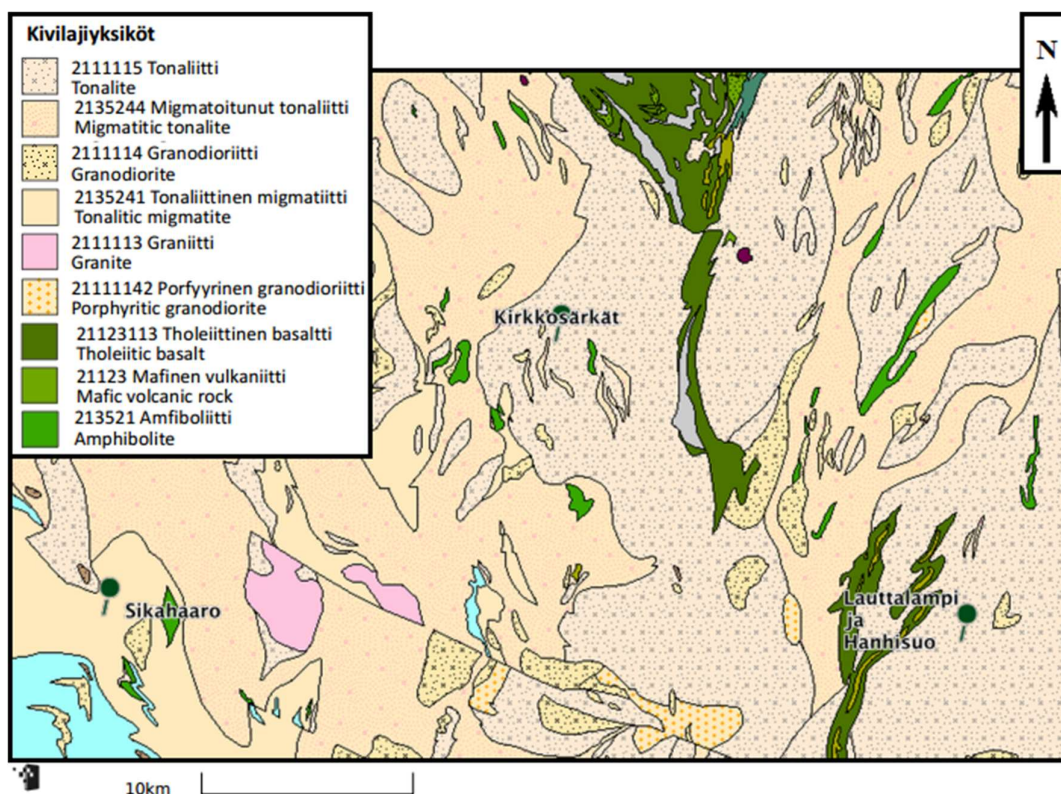
3. Tutkimusalueet

3.1. Geologiset yleispiirteet

3.1.1. Kallioperä

Suomussalmi on geologisesti osa Karjalan provinssiin kuuluvaa Itä-Suomen arkeista aluetta, jonka kallioperä on syntynyt neo- eli myöhäisarkeisella ajalla 3,10 – 2,65 Ga, ja koostuu felsisistä syväkivilajeista, joista osa on metamorfoitunut (Luukkonen ja Sorjonen-Ward 1998). Tämä migmatiitti-granitoidivyöhyke on syntynyt Lopin orogeniassa, joka oli merkittävin mantereisen kuoren syntyvaihe Fennoskandian kilven geologisessa historiassa (Keller et al. 1977; Gaál ja Gorbatshev 1987).

GTK:n kallioperäkartassa 1:200 000 (2009) Kirkkosärkkien pinta-alasta valtaosa on tonaliittista syväkiveä, mutta pohjavesialueen länsiosassa kaistale metamorfoitunutta migmatiittitonaliittia ulottuu tutkimusalueelle etelän suunnasta. Sikahaaro sijaitsee metamorfisen tonaliittimigmatiitin alueella. Lauttalammenharju on kokonaisuudessaan tonaliittisen syväkiven vyöhykkeellä, joka ulottuu kattamaan valtaosan myös Hanhisuonharjun pinta-alasta. Hanhisuonharjun pohjois-koillisosassa noin 0,25 km x 1 km kokoisella kaistaleella vallitsevana syväkivilajina on granodioriitti. Vallitsevat kivilajiyksiköt tutkimusalueella on esitetty kartalla kuvassa 2.



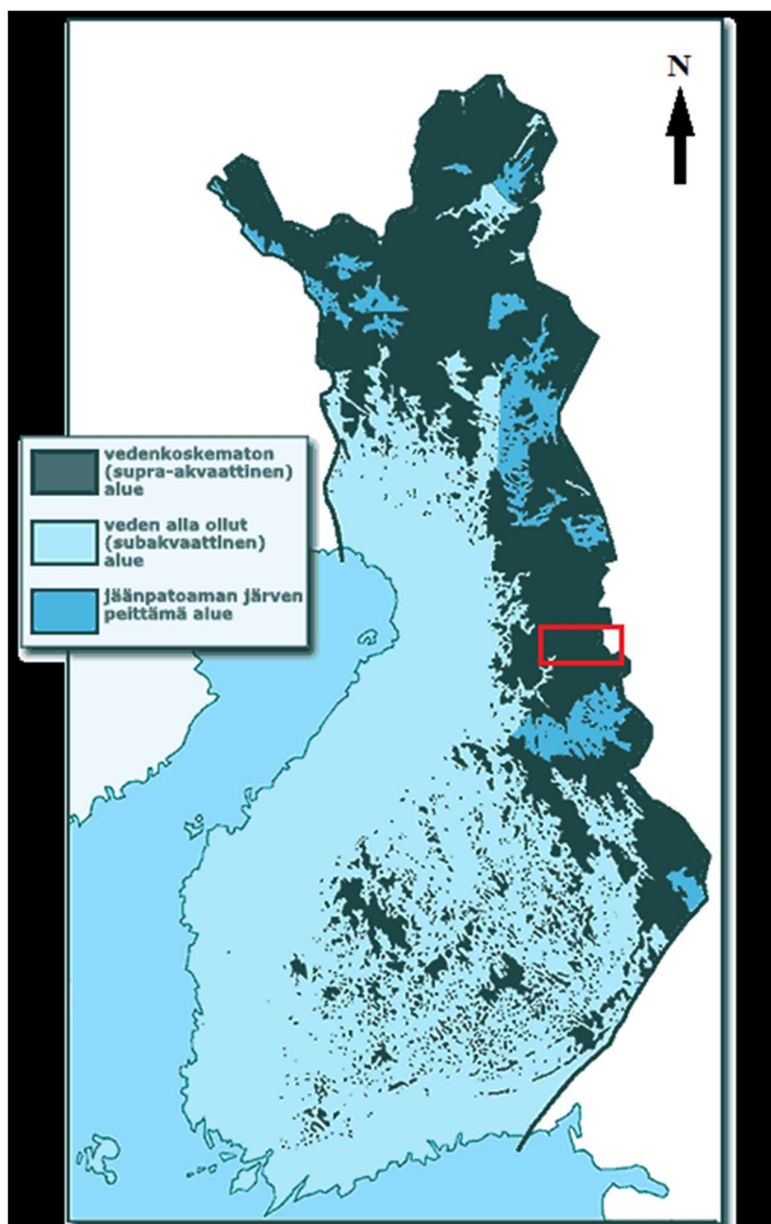
Kuva 2. Tutkimusalueen kallioperän pääpiirteet (Maanmittauslaitos 2017 b.).

Kallioperän laadulla on merkittävä vaikutus alueen topografiaan, ja siten myös jäätikön käyttäytymiseen kullakin alueella. Vaikka pehmeät kivilajit yleisesti ottaen kuluvat kovia herkemmin jäätikköeroosiossa, kallioperän haurausvyöhykkeillä voi olla jopa suurempi rooli maaperämuodostumien synnyn kannalta (Sederholm 1913). Tektoniset siirroslinjat ovat olleet erityisen alttiita jäätikköeroosiolle jäätikön virtauksen ollessa niiden suuntainen (Niini 1968). Toisaalta suuriin rakoihin on kerrostunut huomattavia maaperämuodostumia deglasiaation aikana sulavesien kuljettaessa lajittunutta materiaalia muun muassa murroslaaksojen pohjille. Ylä-Kainuun pohjoisosissa on runsaasti tektonista alkuperää olevia murrospintoja ja pieniä siirroksia, joista osa on jääkauden seurauksena kasvanut (Kurimo 1979). Jäätikkö on saattanut virrata merkittävien rakojen pohjalla uurtaen niitä syvemmiksi ja leveämmiksi. Mannerjäätikkö on myös muuttanut massallaan maankuoren tasapainotilaa, joten jäätikön sulamisen jälkeinen isostaattinen maankohoaminen (De Geer 1890) on vaikuttanut kallioperän jännitystiloihin, mikä on voinut laajentaa kallioperän ruhjeita ja aiheuttaa myös uusia, päärakoilusuunnasta poikkeavia siirros- ja rakolinjoja (Coulomb 1776) jännityskentän suunnan muuttuessa glasiaation ja deglasiaation eri vaiheissa.

Kallioperäkartan 1:200 000 (Geologinen tutkimuskeskus 2009) perusteella pieni, noin 0,5 km pitkä pohjois-eteläsuuntainen siirroslinja kulkee Kirkkosärkkien tonaliittisessa syväkivessä pohjavesialueen länsiosassa, migmatiittitonalittikaistaleen länsipuolella. Sikahaaron länsiosaa ja maa-aineksenottoaluetta halkoo luode-kaakkosuuntainen, noin 6 km pitkä siirros. Noin 2 km pohjavesialueelta luoteeseen on kivilajikontakti, jota siirros myötäilee. Lähialueilla on muitakin luode-kaakkosuuntaisia siirroksia, joita esiintyy tasaisin, noin 2 km välimatkoin. Lauttalammen- tai Hanhisuonharjun pohjavesialueilla ei ole kartoitettuja siirroksia, mutta noin 2 km päässä Hanhisuonharjun itäpuolella on pohjois-eteläsuuntaisen ja luode-kaakkosuuntaisen pääsiirroslinjan risteämiskohta, ja siihen kytkeytyviä pienempiä siirroksia.

3.1.2. Deglasiaatiohistoria

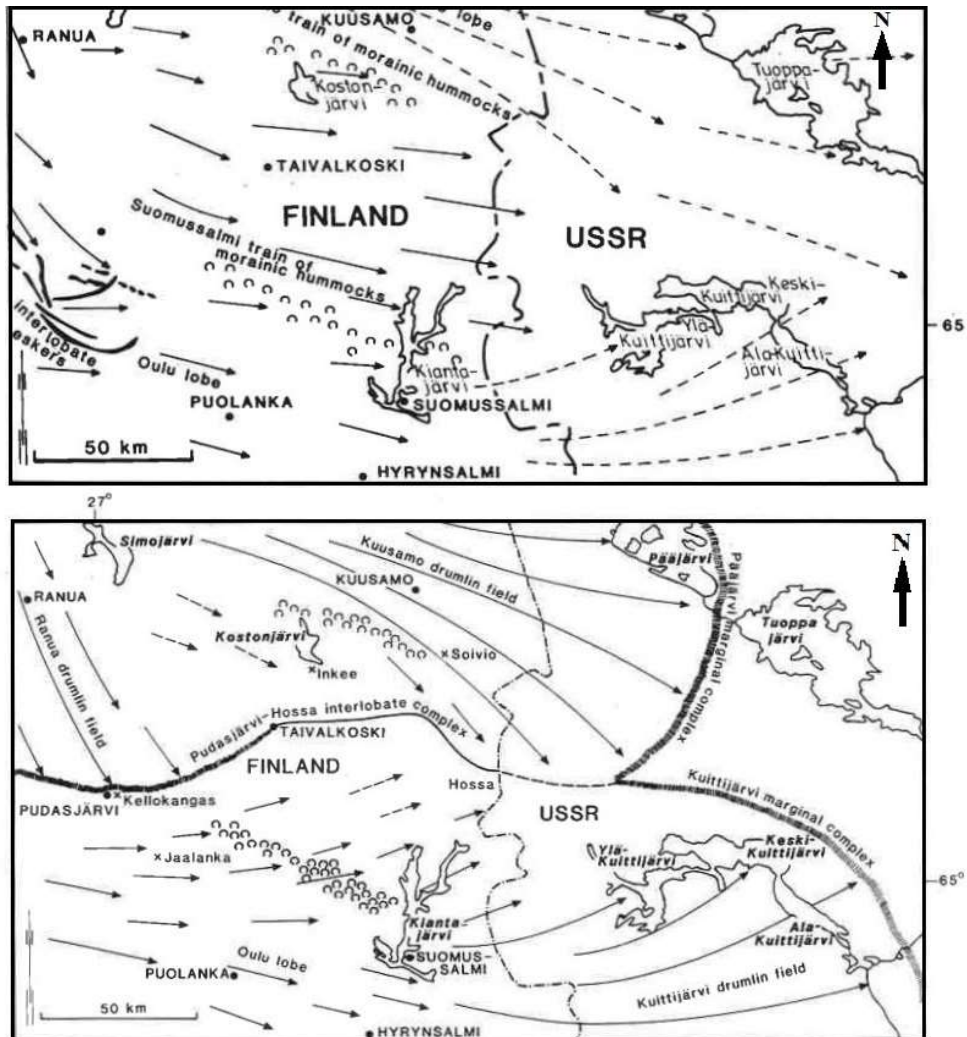
Tutkimusalueet sijaitsivat supra-akvaattisella, eli vedenkoskemattomalla vyöhykkeellä (kuva 3), joka on jäätikön sulamisen jälkeen ollut vedenpinnan yläpuolella (Eronen ja Haila 1992). Nuorimman deglasiaation synnyttämät muodostumat ovat supra-akvaattisilla alueilla subakvaattisia alueita edustavammin esillä, sillä subakvaattisilla alueilla Ancyclus-vaiheen sedimentit loiventavat topografiaa (Aario, R. 1990a). Deglasiaation alkuvaiheisiin sijoittuvan Tuoppajärvi-vaiheen aikana jäätikkö oli yhtenäinen, ja virtaus oli lähes samansuuntaista koko sen peittämällä alueella (Aario ja Forsström 1979).



Kuva 3. Vedenkoskemattomat alueet Suomessa (Haavisto-Hyvärinen ja Kutvonen 2007). Selvityksen pohjavesialueet sijaitsivat punaisen kehysten sisään jäävällä alueella.

Jäämassan kasvettua deglasiation lopulle ajoittuvan viileän ajanjakson, nuoremman Dryas-kauden, aikana jäätikkö muuttui lämminpohjaiseksi, mikä edesauttoi eri suuntiin virtaavien lohkojen syntymistä (Aario ja Forsström 1979; Aario 1990b). Kahden aktiivisen jääkielekkeen, Kuusamon ja Oulun lohkon väliin jäi kuolleen jään alue, jonka pohjoispuolelle muodostui Kuusamon, ja eteläpuolelle Suomussalmen kumpumoreenikenttä (kuva 4a). Ilmaston jälleen lämmittyä, ja jäätikön perääntymisen jatkuessa jäämassa hupeni jäätikkövirran keskiosissa Pudasjärven alueella ympäristöään nopeammin, jolloin jäätikkövirtaukset kääntyivät viereisiltä alueilta kohden

keskustaa, jonne siten muodostui uusia, aktiivisia jäämassoja. Jäätikkö jakautui pohjoisessa länsiluode-kaakkoisuuntaiseen Kuusamon lohkokon, lännessä pohjoisluode-eteläkaakkoisuuntaiseen Ranuan lohkokon, ja etelässä Oulun lohkokon, jonka virtaus jakautui viuhkamaisesti itään päin mentäessä (kuva 4b). Suomussalmen Kiantajärven läheisyydessä tätä vaihetta edustavat uurre-suunnat osoittavat koilliseen (Aarnio ja Forsström 1979).



Kuva 4a. Mannerjäätikön virtaussuunnat Kuusamon ja Suomussalmen kumpumoreenikentien syntyessä. **4b.** Ranuan, Kuusamon ja Oulun kielekevirtojen suunnat mannerjäätikön jakauduttua lohkokoihin (Aario 1990b).

Tutkimusalueilla jäätikön virtausta on uurrehavaintojen perusteella tapahtunut Kirkkosärkillä itäkoilliseen, Sikahaarolla itäkaakkoon ja Lauttalammenharjulla ja Hanhisuonharjulla itään (Kurimo 1979). Pohjoispuolisen Kuusamon kielekevuirran ja Suomussalmenkin alueella vaikuttaneen Oulun kielekevuirran väliin muodostui Hossan

saumarharju sulavesivirtojen kuljettamasta aineksesta. Saumarharjun eteläpuolella on todennäköisesti ollut kuolleen jään alue (Punkari 1980), joka on ulottunut Suomussalmen kumpumoreenikentälle saakka. Suomussalmen alueella on kaksi pitkää harjujaksoa, jotka kulkevat kunnan länsirajalta itärajalle ja jatkuvat Venäjän puolella. Tämän lisäksi laajoja glasifluviaalisia drumliini-harju-komplekseja on muun muassa Pesiönjärven alueella (Virkkala 1954). Kirkkosärkät kuuluu sen itäpuolella sijaitsevan Jaappaankankaan pohjavesialueen kanssa kunnan keskiosassa noin länsi-itäsuunnassa kulkevaan harjujaksoon.

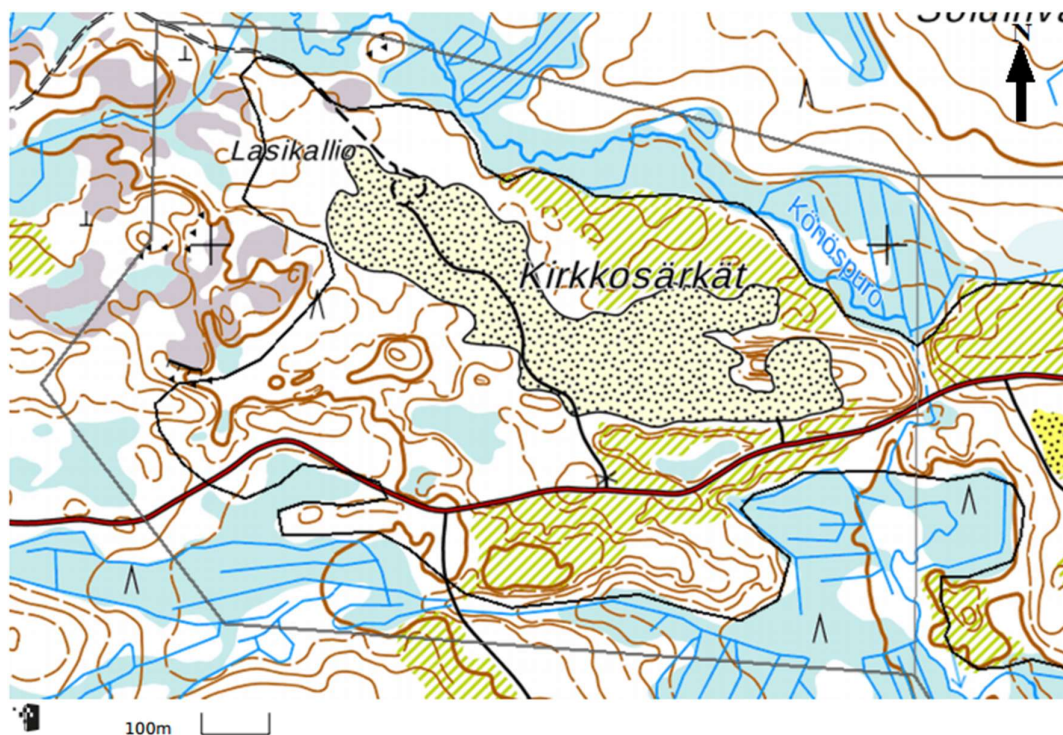
Sikahaaro on muodostunut sen luoteispuolella sijaitsevan Heinälammien pohjavesialueen kanssa samaan pieneen luode-kaakkosuuntaiseen kallioperän siirrokseen (Geologian tutkimuskeskus 2009), ja kuuluu Hiidenjokivarren kames-drumliini-harjumaaston muodostumiin, joka yhdistyy luode-kaakkosuuntaiseen, kunnan kaakkosrajan ylittävään harjujaksoon. Hiidenjoki virtaakin Sikahaaron kohdalla tektonista alkuperää olevassa, glasifluviaalisen aineksen kasaantumisen mahdollistaneessa kalliorotkossa, (Virkkala 1954), joten kallioperän haurausvyöhykkeillä on ollut merkittävä rooli muodostuman synnyssä.

Lauttalammenharju ja Hanhisuonharju ovat osa kapeaa, länsi-itäsuuntaista harjujaksoa, joka jatkuu valtakunnan rajan toisella puolella (Geologian tutkimuskeskus 2010). Koska harjujakso on hyvin suora, ja sen selänteille on hyvin ominaista kapeus ja jyrkkäreunaisuus, se on todennäköisesti syntynyt avoimeen jäätikkörailoon päätyneestä lajittuneesta aineksesta (Okko 1945).

3.2. Kirkkosärkät

Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä pohjavesitietojärjestelmästä, POVET:ista käy ilmi, että Kirkkosärkät (kuva 5) on edellisessä luokittelussa rajattu siten, että sen kokonaispinta-ala on 0,97 km², ja muodostumisalueen pinta-ala 0,54 km². Alueen luoteispuolella on kalliopaljastuma, jonka rinteelle muodostuman maa-aines on kasaantunut. Maa-aineksenottoaikan leikkauksista on tehty havaintoja maaperän koostumuksesta, joka on pääosin kivistä soraa. Alueen luoteisosassa on jonkin verran myös hiekkaista soraa ja soraista hiekkaa (Rönty 2011). Vuonna 2012 soranottoalueen itäosassa suoritettiin yksi kairaus, jonka tulokset tukevat pääosin maastohavaintoja. Soravaroista valtaosa on hyödynnetty, ja muodostuma onkin todennäköisesti aikoinaan ollut yksi Suomussalmen merkittävimmistä yksittäisistä harjuista maa-aineksenoton

kannalta. Edelliset maa-ainesluvut ovat päättyneet 2005 ja 2006 (Rönty ja Eskelinen 2012).



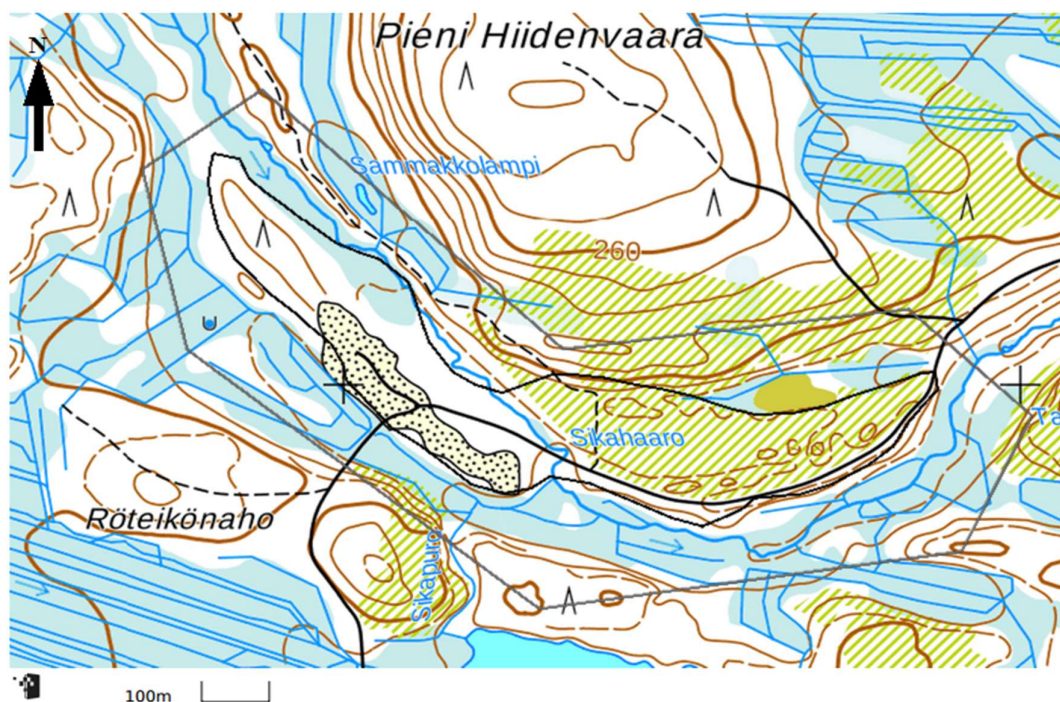
Kuva 5. Kirkkosärkkien pohjavesialue maastokartalla (Maanmittauslaitos 2017 b).

POSKI-selvityksessä 2011 – 2012 ilmeni, että maa-ainesta on paikoin kaivettu pohjaveden pintaan saakka. Pohjaveden päävirtaussuunta on lännestä itään, ja pohjaveden muodostumisolojen on arvioitu olevan hyvät. Pohjaveden muodostumista on muodostumisalueen pinta-alan ja maaperän ominaisuuksien perusteella laskettu tapahtuvan 350 m³/d. Pohjaveden laadusta ei ole tutkimuksia.

3.3. Sikahaaro

Edellisen rajausmenettelyn mukainen Sikahaaron pohjavesialueen (kuva 6) koko on POVET-tietokannan mukaan 0,5 km², ja sen muodostumisalueen pinta-ala on 0,17 km². Pohjavesialue on pääosin antiklininen, mutta sen päävirtaussuuntaa ei tunneta. Pohjoispuoliselta Pienen Hiidenvaaran moreenimuodostumalta tuleva vesi imeytyy harjuun synkliinisesti, mutta tämä ei ole ainakaan edellisessä rajauksessa johtanut siihen, että pohjaveden muodostumisalue ja vaikutusalueen raja olisi määritetty

moreeniselänteen reunan osalta samalle linjalle, vaikka tämä ohjeistus on ollut käytössä jo ennen lakimuutosta (Britschgi et al. 2009).



Kuva 6. Sikahaaron pohjavesialue maastokartalla (Maanmittauslaitos 2017 b).

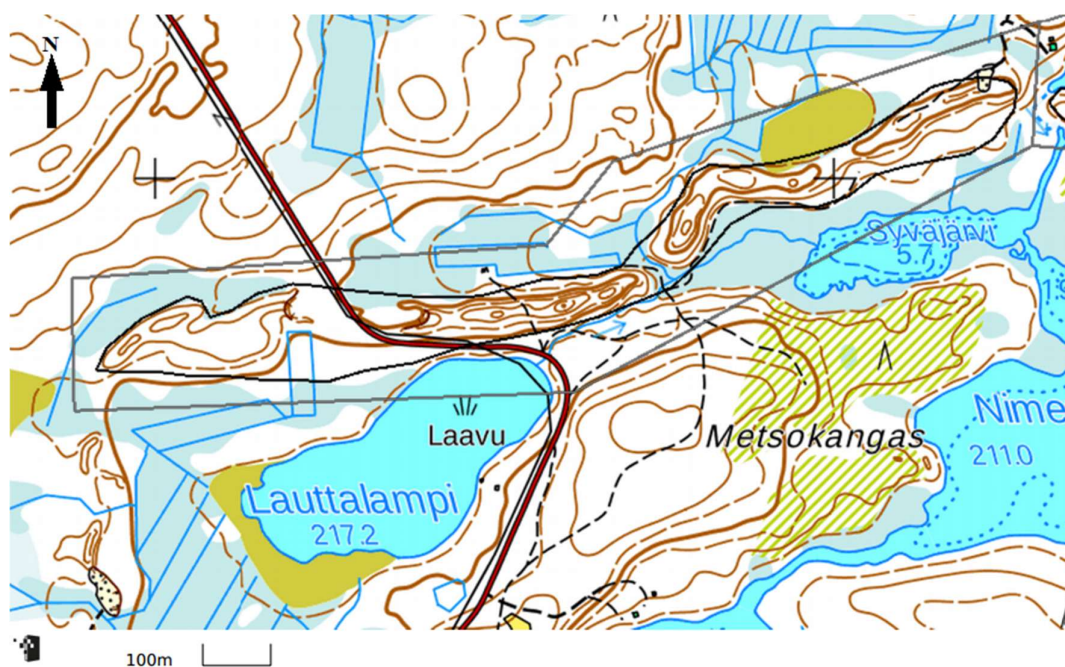
Muodostuman luoteisosassa maa-aines on kivistä soraa ja itäosissa hiekaista soraa. Lohkareita esiintyy jonkin verran (Rönty 2011). Edellytykset pohjaveden muodostumiselle on pohjavesialueen tunnetun rakenteen perusteella arvioitu hyväksi. Pinta-alaan ja maaperän ominaisuuksiin pohjautuva laskelma pohjaveden muodostumismäärästä on $100 \text{ m}^3/\text{d}$. POVET:in rekisterin mukaan Kainuun vesi- ja ympäristöpiiri on suorittanut alueella joitain tutkimuksia vuonna 1991, mutta tarkempaa kuvausta niiden tuloksista ei löytynyt. Ainakaan pohjaveden laadusta ei ole tehty aiempia tutkimuksia.

Alueella on ollut aiemminkin laaja-alaista soranottoa, ja vuonna 2015 sinne voimaantuli uusi maa-ainelupa (1701/77.772/2015). Luvan nojalla voidaan ottaa $48\,000 \text{ m}^3$ maa-ainesta $30\,000 \text{ m}^2$:n alueelta rakennus- ja teidenkunnostustarkoitukseen. Pohjavedenpinnan ja ottamistason väliin on edellytetty jätettäväksi 2 m suojakerros. Erityisesti muodostuman länsiosassa soranotto on aiemman maa-aineksenoton yhteydessä ollut voimakasta, ja koko alueella maa-aineksen ottaminen on ulottunut pohjaveden pinnan tasoon tai sen alapuolelle, mikä lisää pilaantumiseriskiä. Suurin osa käyttökelpoisesta maa-aineksesta on jo otettu, mutta soraontun reunan luoteispuolella

ja maa-aineksenottoalueen kaakkoisosassa on vielä jonkin verran soveltuvaa materiaalia (Rönty 2011). Maa-aineslupa koskee muodostuman luoteisosan ainesta.

3.4. Lauttalammenharju

Lauttalammenharju (kuva 7) on kapea ja jyrkkäreunainen harjuselänne, jonka maa-aines on karkeaa hiekkaa ja soraista hiekkaa. Muodostuman keskiosassa on notkelma, jossa virtaa Hämeenpuro. POVET-tietokannan mukaan alueella on ollut maa-aineksen ottoa ja murskausasema. Pohjaveden muodostumisolosuhteet ovat harjua koskevan tiedon valossa kohtalaiset, ja pinta-alaan ja maaperään pohjautuva arvio pohjaveden muodostumismäärästä on $50 \text{ m}^3/\text{d}$. Harju on antikliininen, eli se purkaa pohjavettä ympäristön soihin ja pintavesiin. Pohjaveden päävirtaussuuntaa ei tunneta. Aiempia tutkimuksia pohjaveden laadusta ei ole tehty.



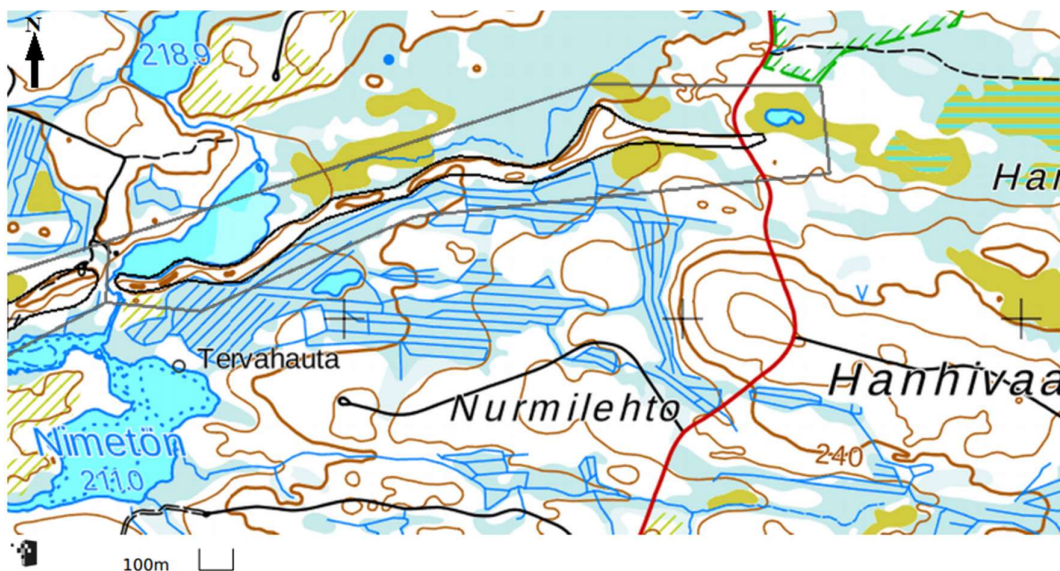
Kuva 7. Lauttalammenharjun pohjavesialue maastokartalla (Maanmittauslaitos 2017 b).

Maa-ainesta on otettu sekä pohjavesialueen länsiosassa kulkevan tien molemmin puolin että muodostuman koillisreunalla olevalta hiekanottoapaikalta. Harjuleikkaukset ovat 2 – 5 m korkuisia, ja länsiosassa ainesta on paikoitellen otettu pohjavedenpinnan tasoon saakka (Rönty ja Eskelinen 2012). Maa-aineksenottoapaikat eivät kuitenkaan ole kovin laajoja, joten valtaosa pohjavesialueen maaperästä on koskematon.

Käytännön syistä Lauttalammenharjua ja viereistä Hanhisuonharjua on käsitelty maatulkuutauksissa yhtenä pohjavesialueena. Ne ovat mahdollisesti muodostuneet samaan jäätikkörailoon Veiksel-jääkauden deglasiaatiovaiheessa (Okko 1945), sillä ne ovat molemmat rakenteeltaan katkonaisia, kapeita ja samansuuntaisia. Kainuun POSKI 2011 – 2012 -projektin tutkimusraportissa (Rönty ja Eskelinen 2012) esitetään, että alueet yhdistettäisiin tietokantoihin keskenään samaksi maaperämuodostumaksi.

3.5. Hanhisuonharju

Hanhisuonharju (kuva 8) on suoaluetta halkova kapea harjuselänne, jonka edellisen rajauksen mukainen kokonaispinta-ala on 0,58 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 0,1 km². Harjun maa-aineksen laatua ei entuudestaan tunneta, eikä alueella ole ollut maa-aineksenottoa. POVET-tietokannan mukaan pohjaveden muodostumisolot ovat kohtalaiset ja pinta-alaan ja maaperään pohjautuva arvio antoisuudesta on 50 m³/d. Pohjavesialue on pääosin antikliininen, mutta mahdollisesti osin myös synkliininen, jolloin suovedet voivat imeytyä harjuun mahdollisen vedenoton seurauksena. Pohjaveden laatua ei ole tutkittu.



Kuva 8. Hanhisuonharjun pohjavesialue maastokartalla (Maanmittauslaitos 2017 b).

4. Aineisto ja menetelmät

4.1. Pohjavesialueiden karttatarkastelu ja aiempien tutkimusten ja selvitysten aineistot

Kartta- ja aineistotarkastelun tarkoitus on antaa tutkittavista pohjavesialueista kattava yleiskuva ennen maastokäyntiä ja tarkempia selvityksiä. Tässä työvaiheessa kerätyn informaation perusteella voidaan suunnitella sitä, mihin pohjavesialueen piirteisiin maastokäynnillä kiinnitetään erityistä huomiota. Tämä on erityisen hyödyllistä, mikäli tutkimusalueet ovat laajoja ja aikaa maastokäyntien toteuttamiseen on rajallisesti.

Pohjavesialuekartoilta voidaan tehdä tulkintoja pohjavesialueen rakenteesta kiinnittämällä huomiota muun muassa maaperäkerrostumien muotoon ja jatkuvuuteen, maaston topografiaan, kalliopaljastumiin ja vesistöjen sijaintiin suhteessa pohjavesialueisiin (Kinnunen 2005). Pohjavettä johtamattomien hienoaineskerrosten ja kallionpinnan kulku suhteessa pohjavesiesiintymään antaa kuvaa alueen hydraulisesta rakenteesta, kun taas esimerkiksi maastokartalla näkyvät, harjun suunnasta virtaavat mutkittelevat norot viittaavat pohjavesipuhkeamaan. E-luokan määrittämisen kannalta tämä vaihe on ensiarvoisen tärkeä, sillä näin maastokäynnin resurssit voidaan kohdentaa alueisiin, joilla vesistöjen sijainnin tai kasvillisuustietojen perusteella vaikuttaisi olevan pohjavesivaikuttaisia ekosysteemeitä.

Paikkatietotarkastelu toteutettiin ArcMap 10 paikkatieto-ohjelmalla eri karttakerroksia hyödyntäen. Erityistä huomiota kiinnitettiin mahdollisten pohjavesipuhkeamien sijainnin merkitsemiseen maastokäyntiä varten. Tämän lisäksi kairauspisteitä suunniteltiin paikkatietotarkastelun avulla, sillä tämän työvaiheen aikana käytössämme oli jo maatutkaluotausten tulokset. Ilmakuvista kävi alustavasti ilmi, mitkä pohjavesialueen osat ovat saavutettavissa kairauskalustolla.

Aiemman Suomen ympäristökeskuksen pohjavesien rajaamiseen ja luokitteluun laaditun oppaan (Britschgi et al. 2009) ohjeistus pohjavesialueiden rajaamisen menettelystä on ollut suurilta osin samankaltaista, kuin mitä vesienhoitolakiin (1299/2004) 2016 lisätyt kohdat edellyttävät. Pohjavesialueiden rajaamisen perustana ovat aiemminkin olleet aluekohtaisten yleissuunnitelmien lisäksi sora- ja hiekkavarojen inventoinneissa kerätyt tiedot, peruskartat sekä vääräväri-ilmakuvat. Aiempaa rajausta varten kerättyä aineistoa voidaan hyödyntää etenkin uudelleenrajauksen alkuvaiheissa, kun tehdään alustavaa tarkastelua pohjavesialueiden yleispiirteistä. Sen perusteella voidaan myös arvioida sitä,

kuinka kattaville lisätutkimuksille tai -selvityksille on tarvetta. Ennestään hyvin tutkittujen pohjavesialueiden rajausta ei välttämättä ole tarpeen tarkistaa, mikäli edellinen rajausta on toteutettu kattavan aineiston pohjalta.

Tiedot pohjavesialueisiin kohdistuvista tutkimuksista ja muista hankkeista on tullut siirtää Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämään pohjavesitietojärjestelmään, POVET:iin. Pohjavesialuetietoihin kohdistuvat muutokset, kuten kartoituksissa havaitut kalliopaljastumat, lähteet, kaivot, maa-aineksenottoalueet, riskikohteet ja pohjavesiputket on lisäksi päivitetty SYKE:n paikkatietoaineistoihin ja karttoihin (Britschgi et al. 2009). Mikäli pohjaveden virtaussuunnasta on riittävää, mittauksiin perustuvaa näyttöä tai se on muuten selkeästi havaittavissa, päävirtaussuunta on voitu merkitä pohjavesialueen kartalle suuntanuolin. Usein virtausolot kuitenkin vaihtelevat niin paljon sääolojen ja vuodenaikojen vaikutuksesta, ettei perusteita suuntanuolien kartalle lisäämiselle ole.

Kaikilla neljällä selvityskohteella pohjavesialueen rajausta on tarkistettu viimeksi vuonna 1995. Kuten usean muunkin vedenhankinnallisesti vähäisen III-luokan pohjavesialueen kohdalla, rajausta on toteutettu pääosin tekemällä karttatarkastelun ja mahdollisten maastokäyntien pohjalta tulkintoja akviferin, eli pohjavesiesiintymän, rakenteesta. Tulkinnat ovat voineet perustua tieleikkauksista ja maa-aineksenottoapaikoilta havaittuun maa-aineksen laatuun, kartoille ja paikkatietoaineistoon merkittyyn kallioperän topografiaan ja kalliopaljastumien sijaintiin sekä mahdollisista kaivoista tai lähteistä mitattuun pohjavedenpinnan tasoon (Britschgi et al. 2009). Muodostuman vedenläpäisevyys on tällaisessa kartta- ja maastohavaintoihin perustuvassa rajaustamenettelyssä laskettu havaittujen maa-aineskerrosten perusteella usein sillä oletuksella, että muodostumalla on tyypillinen harjun rakenne, jossa vesi virtaa nopeiten karkearakeisessa soraytimessä.

Kaikki selvitysalueet on sisällytetty Geologian tutkimuskeskuksen Kainuun POSKI 2011 – 2012-hankkeeseen, jonka yhteydessä pohjavesialueita on tarkasteltu lähinnä maa-aineksenoton kannalta. Kirkkosärkillä toteutettiin yksi kairaus osana projektia, ja kaikilla pohjavesialueilla tehtiin pohjavesien suojelun ja maa-aineksen hyödyntämisen yhteensovittamiseen tähtäävää maastotarkastelua. Tämä hanke on hyvä esimerkki sellaisesta maa-ainesvarojen inventoinnista, jota voidaan hyödyntää uudelleenrajauksen tukena.

4.2. Maatutkaluotaukset

Maatutkaluotauksia käytettiin esitutkimusmenetelmänä, josta tehtyjen tulkintojen pohjalta suunniteltiin maaperäkairauksia tarkoitukseen soveltuvilta vaikuttaviin pisteisiin. Pää tarkoituksena oli saada suuntaa-antavaa informaatiota pohjaveden- ja kallionpinnan tasosta ja maa-aineksen laadusta muodostuman eri osissa, joten valtaosa luotauslinjoista vedettiin kulkemaan harjuselänteiden suuntaisesti. Tämä poikkeaa perinpohjaisempien pohjavesialueille tehtävien rakennetutkimuksien käytännöistä, joilla geologisten piirteiden vaihtelu halutaan selvittää 3-ulotteisesti. Tällöin linjat suositellaan sijoittamaan siten, että ne kulkevat kohtisuoraan toisiaan vasten muodostaen tutkimusalueen kattavat ristikkokuvion, jossa samansuuntaiset linjat ovat yhdenmukaisella etäisyydellä toisistaan (Annan 2008).

Maatutkaluotauksessa tutkittavaan väliaineeseen, joka tässä tapauksessa oli maaperä, johdetaan antennin kautta valonnopeudella eteneviä sähkömagneettisia pulsseja, joista osa heijastuu takaisin niiltä rajapinnoilta, joilla maaperän sähkönjohtavuudessa tapahtuu muutoksia (Nakashima et al. 2001). Maatutkalaitteiston anturit mittaavat palautuvan säteilyn amplitudin ja pulssin edestakaiseen matkaan kuluneen ajan. Kun tehdään tulkintoja maaperän koostumuksesta aallon matka-ajan perusteella, tulee huomioida antennin asetusten ja lähetettyjen pulssien aallonpituuden vaikutus tuloksiin (Yilmaz 1987).

Muutokset kerrosten kosteuspitoisuudessa tarkoittavat yleensä muutosta myös maa-aineksen laadussa, sillä maaperän pidätyskerroin vaihtelee vallitsevan lajitteen mukaan. Koska vedellä kyllästyneen maa-aineksen dielektrinen vakio, eli sähköneristävyys on kuivaa materiaalia korkeampi, sähkömagneettinen aalto etenee hitaammin pohjavedenalaisissa kerroksissa (Nakashima et al. 2001). Pohjavedenpinnan taso hyvin vettä johtavassa maaperässä voidaan siten määrittää vastesignaalien nopeudessa tapahtuvan äkillisen hidastumisen perusteella (Idi ja Kamarudin 2011). Tämän lisäksi maaperän kyky pidättää vettä myös varsinaisen akviferin yläpuolisissa kerroksissa vaikuttaa mittausaikaan. Nämä tekijät on huomioitava luotausprofileja tulkittaessa siten, että kerrospaksuudet tulkitaan suhteessa pienemmiksi niissä kerroksissa, joiden maalajeilla on taipumuksena pidättää vettä. Esimerkiksi saven vesipitoisuus on tyyppillisesti noin 50 % (Ronkainen 2012), mikä lisää mittausajan pituutta. Kuivissa hiekka- ja sorakerroksissa luotaus voi puolestaan ulottua kymmenien metrien syvyydelle, kun käytössä on 100 MHz antenni (Salih 2007).

Tulkittaessa maatumkaluotausprofiileja tulee huomioida se, että sähkömagneettiset aallot kulkevat hitaammin pohjavedenpinnan alapuolisissa kerroksissa, kuin vedellä kyllästymättömissä osissa muodostumaa. Mitä suurempi ero rajapintojen molemmin puolin olevien materiaalien sähkönjohtavuudessa on, sitä voimakkaampi on profiilissa viivaksi piirtyvä heijaste. Koska veden dielektrisyysarvo on korkea, pohjavedenpinnan taso on erityisesti hyvin lajittuneessa aineksessa määritettävissä äkillisenä aallonnopeuden hidastumisena (Neal 2004). Hyvin vettä johtavassa maa-aineksessa pohjavedenpinta voidaan selkeästi erottaa luotausprofiilista, sillä se aiheuttaa kahden yhtenäisen heijasteviivan piirtymisen (Neal ja Roberts 2001). Pohjavedenpinnan taso onkin arvioitava ennen muiden tulkintojen tekoa (Neal 2004), ja alustavissa tulkinnoissa tämä on tehty tarkastelemalla ympäröivien vesistöjen ja suoalueiden vedenpinnan tasoa, mikäli profiilissa näkyvät heijasteet eivät ole pohjavedenpinnan tason osalta selkeitä.

Hyvin lajittuneissa hiekka- ja sorakerroksissa sähkömagneettiset aallot etenevät nopeasti (van Heteren et al. 1989), ja lajitteet erottuvat stratigrafisina yksiköinä pääosin horisontaalisilta kerrostumispinnoilta tulevien heijastusten ansiosta (Mitchum et al. 1977). Sähkömagneettisten aallon osuessa väliaineeseen, jonka dielektrisyys on korkea, profiiliin tyypillisesti piirtyy kerroksen ylemmälle rajapinnalle hyvin vahva, kolmesta viivasta koostuva heijaste, jonka alapuolella signaali merkittävästi heikkenee aaltojen liike-energian hiipumisen vuoksi. Esimerkiksi savikerrokset ja hienoainesdiamiktoni voivat olla syynä signaalin äkilliseen katoamiseen. Tällöin voi olla haastavaa selvittää hienoaineskerroksen alapuolisen materiaalin laatua.

Myös kallionpinnan tasosta voidaan tehdä arvioita profiililla näkyvien rakenteiden ja aallonnopeudessa tapahtuvien muutosten perusteella. Kalliossa sähkömagneettinen aalto etenee keskimäärin samalla nopeudella kuin kuivassa sorassa ja hiekassa (van Heteren et al. 1989), mutta vastaavia kerrostumispinnoilta tulevia signaaleja ei ole. Sen sijaan kallion rakoihin kulkeutunut pohjavesi voi aiheuttaa voimakkaita heijasteita, jotka luotausprofiililla saattavat muistuttaa karkean hiekan ja soran rakenteita. Toisaalta kivilajin lohkeilevuus voi helpottaa kallionpinnan tason määrittämistä, sillä sopivia suodattimia ja vahvistuksia käyttämällä raot ovat nähtävissä profiilintulkintaohjelmassa. Kallionpinnasta lähtee usein voimakkaana piirtyvä heijasteviiva, joka katkeaa ja taipuu rakojen kohdilla.

Luotautulokset tulkittiin kairausten jälkeen uudelleen, jolloin dielektrisyysarvoja voitiin muuttaa maa-aineksen laadusta ja pohjavedenpinnan tasosta saatuja tietoja hyödyntäen. Luotausprofiilia voitiin tarkentaa luotettavasti vain sille etäisyydelle

kairauksesta, jolle sen avulla määritetyt rajapintaheijasteet jatkuivat selkeästi yhtenäisenä linjana. Kaira-aineiston niukkuuden vuoksi osalle luotauslinjoista ei ole referenssiaineistoa, johon niistä tehdyt tulkinnat voitaisiin sitoa.

Tulkintojen korjaus aloitettiin niistä pisteistä, joista on luotauslinjoille sijoitettujen kairausten tuloksia. Kairauksissa määritettyjen rajapintojen kulkua voitiin seurata joissain tapauksissa kauemmas linjalla, mutta kerrosten määrittäminen muuttui pääsääntöisesti sitä epävarmemmaksi mitä kauempana kairauspisteestä tulkittava luotausprofiilin kohta sijaitti. Luotauslinjojen tuntumaan sijoittuvia kalliopaljastumia ja pohjavesipuhkeamia voidaan hyödyntää kallion- ja pohjavedenpinnan tason määrittämisessä kairausaineiston ollessa niukka.

Suurin haaste maatutkaluotauksen käytössä on se, että profiilien tulkinta on suhteutettava kulloinkin tutkittavan pohjavesialueen ominaispiirteisiin. Jonkinlainen käsitys väliaineen ominaisuuksista on välttämätöntä tulkintojen tekemiseksi, sillä syöttämällä profiilinkäsittelyohjelmaan arviot pohjavedenpinnan tasosta ja maa-aineksen laadusta, syvyysulottuvuus muokkaantuu materiaalin dielektrisyyteen pohjautuvilla kertoimilla, joiden tyypillisiä arvoja on esitetty taulukossa 1. Tämän vuoksi alustavat tulkinnat eivät yksistään ole luotettava arviointiperuste, vaan ne on sidottava muuhun aineistoon. Maatutkaluotauksen tulkinnassa onkin suositeltavaa käyttää tukena muita menetelmiä, kuten kairauksia tai seismisiä luotauksia (Kinnunen 2005).

Taulukko 1. Sähkömagneettisen aallon etenemiseen vaikuttavien ominaisuuksien tyypillisiä lukuarvoja joillekin väliaineille. Neal ja Roberts 2000 mukailten.

Väliaine	Dielektriittisyys (er)	Aallonnopeus (m/ns-1)	Sähköjohtavuus (mS/m-1)
Ilma	1	0,3	0
Makea vesi	80	0,03	0,5
Kuiva Hk.	2,55–7,5	0,1–0,2	0,01
Vedellä kyllästynyt Hk.	20–31,6	0,05–0,08	0,1–1
Kuiva Hk. ja Sr	3,5–6,5	0,09–0,13	0,007–0,06
Vedellä kyllästynyt Hk. ja Sr.	15,5–17,5	0,06	0,7–0,9
Kuiva Si.	2,5–5	0,09–0,12	1–100
Vedellä kyllästynyt Si.	22–30	0,05–0,07	100
Kuiva Sa.	2,5–5	0,09–0,12	2–20
Vedellä kyllästynyt Sa.	15–40	0,05–0,07	20–1000
Kuiva Mr.	7,4–21,1	0,1–0,12	2,5–10
Vedellä kyllästynyt Mr.	24–34	0,1–0,12	2–5
Kallioperä	4–6	0,12–0,13	10 ^{-(5–40)}

Kainuun ELY-keskus teetti 8 – 9.12.2015 Suomussalmella toteutetut maatulkuotukset GeoWork Oy:llä. Maatulkuotusten linjat suunniteltiin siten, että pohjavesialueiden rakenteesta saatiin pienimmillä toteutettavissa olevilla kustannuksilla mahdollisimman kattava kuva. Luodattava metrimäärä pyrittiin pitämään pienenä sijoittamalla päälinjat harjuselänteiden myötäisiksi ja olettamalla harjun poikkileikkauksen noudattavan pääpiirteissään harjulle tyypillistä rakennetta, jossa harjun ytimessä oleva materiaali on karkeinta ja veden virtaus nopeinta. Muutamia harjannetta vastaan kohtisuoria linjoja on vedetty tämän oletuksen tueksi.

Konsultin toimittaman raportin mukaan (Pollari 2015) mittalaitteistona käytettiin GSSI:n SIR-3000 maatulkuotainta. Laitteen massamuistista tiedot siirrettiin GeoDoctor 2.5 profiilinkäsittelyohjelmalle. Maaperään johdetut sähkömagneettiset pulssit olivat 1 – 6 nanosekunnin pituisia. Antennin taajuutena oli 100 MHz ja odotusaikana 500 nanosekuntia, mikä tyypillisesti tarkoittaa 15 – 20 m ulottuvuutta luotausprofiilin syvyydessä. Mikäli maaperässä on paljon hienoainesta, luotauskyvyys ei välttämättä ole yhtä suuri (Salih 2007). Koska mittauskalusto on kevyt, mittaja pystyi kantamaan laitetta sylissään. Antennia kuljetettiin mittalaitteen perässä siten että niiden etäisyys pysyi vakiona luotuksen ajan. Maatulkalaitteistoon kuuluu mittapyörä, jonka avulla voidaan säätää mittauspisteiden tiheys. Tässä luotauksessa arvo oli 20 pistettä/ m, eli mittaustuloksia otettiin 5 cm välein. Syntyneet luotausprofiilit on kytketty tarkkuus-GPS:llä VRS-verkkoon, joka on useiden kiinteiden tukiasemien tietoihin pohjautuva, päivittyvä virtuaalinen tukiasema. Sitomalla kairauspisteiden ja maatulkuotuslinjojen tarkat koordinaatit toisiinsa, voidaan luotauksien epätarkkuuksia korjata kairauksien perusteella.

4.3. Maastotarkastelu

Maastokäynnit tehdään yleensä paikkatieto- ja aineistotarkastelun jälkeen, jotta voidaan varmentaa karttatarkastelussa ja aiemmissa tutkimuksissa ilmenneet seikat, ja suunnitella mahdollisia jatkotutkimuksia pohjavesialueille (Kinnunen 2005; Britschgi ja Rintala 2016). Tässä hankkeessa maatulkuotukset päätettiin tehdä jo alkutarkastelun perusteella, sillä selvityskohteina olevista pohjavesialueista oli entuudestaan liian niukasti hydrogeologista tietoa rajauksen toteuttamiseksi. Niin ollen maastotarkastelu toteutettiin vasta maatulkuotusten jälkeen. Vaikka työjärjestys on poikkeuksellinen,

sen ansiosta alkutarkasteluaineiston lisäksi myös maatulkuutausten tulokset olivat hyödynnettävissä maastokäynnin suunnittelussa.

Työvaiheen merkitys on suuri, sillä joskus karttaprojektiot voivat vääristää pohjavesialueesta alkutarkastelussa syntyvää vaikutelmaa, tai alueella on voinut tapahtua muutoksia muun muassa maankäytössä edellisen kartoituksen jälkeen. Myös lähteitä on saatettu merkitä maastokartoille riittämättömin perustein ilmakuva- ja karttatulkinnan pohjalta, ja toisaalta kaikkia pohjavesipuhkeamia ei aiemmissa tietokannoissa ole. E-luokan määrittämisen kannalta maastokäynnit ovat ehdottoman tärkeitä erityisesti sellaisilla pohjavesialueilla, joiden ympäristössä ei ole toteutettu kattavia luontotyyppi-inventointeja. Toisaalta merkittyjen pohjavesipuhkeamien olemassaolo ja luonnontilaisuus on syytä varmistaa, jottei vedenhankinnan kannalta vähäisten pohjavesialueiden maankäyttöä rajoiteta tarpeettomasti (Hallituksen esitys 101/2014). Vaikka maastotarkasteluun voi laajoilla pohjavesialueilla kulua aikaa, sen huolellinen toteutus voi joissain tapauksissa säästää turhilta ja kalliimmilta lisätutkimuksilta.

Maastossa on hyvä tehdä havaintoja mahdollisista kalliopaljastumista, orsivesiesiintymistä tai riskikohteista ja korkeusvaihteluista, maa-aineksen laadusta ja pohjavesipuhkeamista. Uudet kaivot, sorakuopat ja rakennelmat voivat vaikuttaa pohjavesioloihin, joten tiedot niistä on tärkeää merkitä ylös (Kinnunen 2005). Hyviä paikkoja rakenteiden ja maa-aineksen laadun havainnointiin ovat tieleikkaukset ja maa-aineksenottopaikat (Britschgi et al. 2009). Pohjaveden laadun kannalta erityistä merkitystä on tehdä havaintoja sellaisista kohteista, joista voi liueta haitta-aineita pohjaveteen. Myös runsas maa-ainesten otto muodostaa riskin pohjaveden laadulle, mikäli se yltää liian lähelle pohjaveden pinnan tasoa, sillä sade- ja pintaveden suodattumisen kannalta oleelliset suojakerrokset on poistettu.

4.4. Kairaukset

Tässä selvityksessä kairausten tarkoituksena oli sekä toimia referenssinä maatulkuutuksille että tuottaa tarkempaa tietoa maa-aineksen laadusta, ja erityisesti sen vaikutuksesta pohjavesioloihin. Koska luotausprofiilia tulee aina tulkita paikallisten olosuhteiden mukaan, liittyy rakenteiden tulkintaan epävarmuustekijöitä. Onnistuneilla referenssikairauksilla luodaan edellytykset luotausprofiiliin luotettavalle tulkinnalle.

Referenssikairauksia varten pisteet valittiin siten, että samoja kairanreikiä hyödyntäen voitaisiin suorittaa antoisuuspumppaukset. Kairauspisteet sijoitettiin maatulkuotausten tulkintojen pohjalta sellaisiin kohtiin, joissa pohjavedenpinta oli mahdollisimman lähellä maanpintaa, ja vettä johtavien maa-aineskerrosten paksuus suurimmillaan. Käytännön syistä alueen maankäyttömuoto, kuten myös saavutettavuus kairauskalustolla vaikutti pisteen valintaan. Kairauspisteistä otettiin koordinaatit tarkkaa GPS-paikanninta käyttäen. Koordinaattijärjestelmänä on ETRS-GK29 ja korkeusjärjestelmänä N2000.

Kairaukset toteutettiin Mitta Oy:n tela-alustaisella GM-200 kairakoneella (Kuva 9). Näytepisteen ominaisuudet vaikuttivat siihen, mitä kairaustapaa kussakin kairauksessa käytettiin, mutta pääasiallisena menetelmänä oli ajaa maaputket haluttuun syvyyteen ja puhdistaa ne tarvittavin välein porauskangilla. Näytteenottoa varten kankiin kiinnitetään näytteenottopää, joka ajetaan maahan maaputkien suun ohi näytteenottopituuden verran. Näyteputkien pituudet ovat 100 cm ja 200 cm. Koska näytettä ei voida ottaa häiriintyneestä kerroksesta, näytesyvyudet on päätettävä etukäteen maatulkuotausprofiilien ja maastohavaintojen perusteella. Tämän epävarmuustekijän vuoksi näytteenottimeen saattaa tulla maa-ainesta useista kerroksista. Kun näytteenotin nostetaan pinnalle, sen sisältö tyhjennetään sinkkiämpäriin. Tässä vaiheessa riski eri kerrosten maa-aineksen sekoittumiselle on suuri.

Kalliovarmistusta varten porakankia ajetaan maaputkien läpi, kunnes kovaa pohjaa on porattu noin 2 m. Näin varmistetaan, että kyseessä on kallio eikä esimerkiksi suuri kivi. Pohjavedenpinta mitataan kairauksen yhteydessä maaputkien läpi, ja mahdollisuuksien mukaan seuraavana päivänä kairareistä, jotta kairauksen pohjavedenpintaan aiheuttama häiriö olisi ehtinyt hälvetä. Kairaus ja maaputkien puhdistus porakangilla saattaa syrjäyttää vettä, ja madaltaa pohjavedenpintaa hetkellisesti.



Kuva 9. Pohjavesialueiden maaperäkairauksiin käytetty GM-200 kairakone.

4.5. Antoisuuspumppaukset ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi

Antoisuuspumppauksilla selvitetään pohjavesialueiden soveltuvuutta yhdyskuntien vedenhankintaan. Menetelmän avulla voidaan tutkia maakerrosten välillä olevia antoisuuseroja ja pohjaveden laadussa tapahtuvia muutoksia (Kinnunen 2005). Antoisuuspumppaukset ovat huomattavasti pitkäkestoisia koepumppauksia edullisempi vaihtoehto, joten niitä hyödynnetään selvityksissä, jotka eivät tähtää suoraan uusien vedenottamoiden perustamiseen. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida, että ne kuvaavat vain kyseisen maa-aineskerroksen antoisuutta pumppaushetkellä, eivätkä pitkän aikavälin vedenhankinnallista potentiaalia. Vaikka antoisuus olisi suuri, kerroksen vesivarastot eivät välttämättä täydenny riittävän nopeasti, jotta muodostuman pohjavettä voitaisiin hyödyntää talousvetenä.

Selvitys toteutetaan kerrospumppauksena siten, että tutkimuksen kohteena olevan maa-aineskerroksen ohi ajetaan GM-200 kairauslaitteella maaputket, jotka puhdistetaan porauskangilla. Kanget ja maaputket vedetään ylös, ja metrin mittainen siiviläputki (kuva 10a), jonka reikien halkaisija on 2,5 mm, kiinnitetään maaputkien päähän. Liitoksiin kieritetään tiivistenauhaa ja putkikittiä ennen putkien yhdistämistä. Siiviläputki työnnetään maaputkien avulla pumppausvyönteeseen välittömästi tämän jälkeen, jottei kairareikä ehtisi täyttyä maa-aineksella. Putkien yläpäähän kiinnitetään pumppausuutin (kuva 10b), josta johdetaan letkut vesipumppuun. Vesipumppuun kiinnitetään paloletku, joka johtaa antoisuuden mittaamiseen käytettäville saaveille.



Kuva 10a. Siiviläputki, jonka reikien halkaisija on 2,5 mm. Putken liitäntäpäähän ympärille on kieputettu tiivistenauhaa. **10b.** Kairauskalusto ajettuna maahan pumppausta varten. Ylimpään maaputkeen kiinnitettyyn pumppausuuttimeen kytketään pumppuun johtava vesiletku.

Prosessin toiminnan testaamiseksi pumppuun syötetään niin kutsuttua siemenvettä, joka kulkee paloletkun läpi saaville pumpun toimiessa oikein. Pohjavesi johdetaan saaviin, jonka tilavuus tunnetaan, ja täyttymisaikaa kelloitetaan. Näin saadaan laskettua tuotto yksikössä min/dm^3 . Sameus ja korkea hienoainespitoisuus pohjavedessä voi olla pumppauksen alkuvaiheen ohi menevä ilmiö, tai se voi ilmentää pohjaveden todellista laatua. Tämän vuoksi myös kirkastumiseen kuluvaa aikaa kelloitetaan pumppauksen

aloittamishetkestä lukien. Vesinäytteet pyritään ottamaan kirkastuneesta pohjavedestä, mutta mikäli kirkastumista ei tapahdu tunnissa, otetaan näytteet kirkastumattomasta vedestä. Pohjaveden lämpötila mitataan näytteenoton yhteydessä.

Alueella uusiutuvan pohjaveden määrä arvioidaan laskennallisesti muodostumisalueen pinta-alan, imeytymiskertoimen ja alueen vuotuisen sadannan perusteella (Britschgi ja Rintala 2016). Laskelmissa huomioitiin ne pohjavesialueiden osat, joiden pinnan materiaali läpäisee vettä. Tämä tarkoittaa käytännössä uudelleen määritetyn muodostumisalueen rajojen sisään jäävää osaa. Jotta pinta-alaan pohjautuvat arviot pohjaveden muodostumismäärästä voidaan laskea, uudet muodostumisalueen rajat määritetään myös sellaisille alueille, jotka putoavat pohjavesialueluokitukselta.

Imeytymiskerroin kuvaa sitä vesimäärää, joka sadannasta imeytyy pohjavedeksi, ja siihen vaikuttavat haihdunta, maaperän vedenjohtavuus ja pintavalunnan määrä (Britschgi ja Rintala 2016). Erityisesti pohjavedenpinnan yläpuolisella maavesikerroksen maa-aineksella on merkitystä pohjaveden muodostumisessa (Kinnunen 2005), joten sen ominaisuuksiin kiinnitetään eniten huomiota imeytymiskerrointa arvioitaessa. Maaperän lajittuneisuus, raekoko ja huokoisuus vaikuttavat sen pidättämän veden määrään, ja vedenpidätyskerroin (S_r) on huokoisuuden (p_f) ja ominaisantoisuuden (S_y) erotus (McWorter ja Sunada 1977; Heath 1983). Koska vajoveden osuus pienenee sen pidättyessä kyllästymättömään maa-ainekseen (Heath), pohjavedenpinnan yläpuolisen maa-aineskerroksen paksuutta metreinä käytetään suotautuvan pohjavesiosuuden potenssina. Imeytymiskerroin lasketaan siten:

$$(1 - (\text{haihdunta/sadanta})) * (1 - S_r)^{\text{pohjavedenpinnan syvyyden ka.}}$$

Sadannan määränä on laskelmissa käytetty vuosien 1981 – 2010 keskiarvoa (657 mm vuodessa) Suomussalmen kirkonkylän ja Pesiön havaintoasemilta (Pirinen et al 2012). 1 mm sadevettä vastaa yhden litran vesimäärää jokaista pinnan neliometriä kohden. Vuosilta 1971 – 2000 laskettu haihdunnan keskiarvo Pesiön havaintoasemalla on 335 mm vuodessa (Suomen Ympäristökeskus 2013), mikä on 51 % sadannasta.

Laskukaava pohjaveden muodostumismäärän arviointiin on:

$$\text{Pohjaveden muodostumismäärä (m}^3\text{/vrk)} = \text{imeytymiskerroin (0 - 1)} * \text{sadanta (m/vrk)} * \text{muodostumisalueen pinta-ala (m}^2\text{)}.$$

Todellisuudessa pohjaveden muodostumiseen vaikuttaa myös valuntana tulevan ja poistuvan veden määrä, mutta selvitysalueilta ei ole aineistoa valunnan merkityksestä pohjaveden muodostumiseen. Tämän vuoksi laskennallisesti arvioitu pohjaveden muodostumismäärä voi olla todellista pienempi sellaisilla pohjavesialueilla, joilla on synkliinisiä osia, ja todellista suurempi alueilla, joilla pintavalunnan osuus on suuri.

4.6. Tärkeiden ekosysteemien tunnistukseen käytettävät menetelmät

Tärkeitä pohjavesivaikuttavia ekosysteemeitä tunnistetaan maastossa muun muassa indikaattorilajiston ja lämpökameran avulla. Tämän selvityksen pääasiallinen kartoitustapa oli pohjavesivaikuttavien sammallajiston etsiminen. Pohjavesialue luokitellaan E-luokkaan, mikäli sen alueelta löydetään lähteitä, tihkupintoja, pohjavesipuroja tai pohjavesivaikuttavia pintavesi- tai maaekosysteemejä (Vesienhoitolaki 1299/2004: 10b §).

Luotettava merkki siitä, että pohjavedellä on vaikutusta myös maaekosysteemiin, on pohjavettä suosivan lajiston löytyminen kosteikkoalueilta. Lähteet ja tihkupinnat tasaavat ympäristönsä lämpötiloja vuodenaikojen välillä, sillä niillä on hydraulinen yhteys sääoloilta suojassa olevaan pohjaveteen. Sen vuoksi monet vaateliaat ja Suomen oloissa harvinaiset putkilokasvi- ja sammallajit viihtyvät niiden läheisyydessä (Juutinen ja Kotiaho 2009). Heinä- ja ruohokasvillisuutta on runsaasti, ja erityisesti mesiangervoa esiintyy usein lähdeympäristössä. Tyypillisimpiä lähteiköiltä löytyviä sammalia ovat lehväsammat, maksasammat ja hiirensammat. Emäksisen kallioperän alueella esiintyy harvinaista kalkkihuurresammalta, joka tarvitsee käyttöönsä kalsium- ja magnesiumpitoista vettä. Indikaattorilajiston kartoitus on erityisen käyttökelpoinen menetelmä tihkupintojen tunnistamiseen, sillä niiden kohdalla pohjavesivaikuttavat sammat ovat usein ainoa merkki pohjavesipurkaumasta.

Lähdepuhkeamien ekosysteemit ovat muuta ympäristöään tasalämpöisempiä ympäri vuoden, joten lähteet voidaan maastossa erottaa infrapunasäteilyä mittaavan lämpökameran avulla, sillä ne ovat kesäaikaan ympäristöään viileämpiä (Pudas ja Siiro 2016). Tällöin lähde tai tihkupinta voi erottua muuten karuhkossa harjumaastossa ympäristöään rehevämpänä, notkelmassa sijaitsevana laikkuna (Juutinen ja Kotiaho 2009). Talvella lähde pysyy usein sulana, joten sen voi erottaa lumisesta ympäristöstä

(Pudas ja Siiro 2016). Maastotyöskentely voi kuitenkin olla talviaikaan haastavaa erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa lumipeitteen paksuuden vuoksi. Pitkien lumettomien pakkaskausien jälkeen jäätyttömiä vesiesiintymien etsiminen on kuitenkin toimiva maastotunnistusmenetelmä.

Koska E-luokan määritelmä pitää sisällään sen, että pohjavedellä on merkitystä suojeltavan ekosysteemin kannalta, on purkautuvan pohjaveden määrällä vaikutusta esimerkiksi pintavesiekosysteemiin kohdistuvaa vaikutusta arvioitaessa (Britschgi ja Rintala 2016). Todellista pitkän aikavälin purkautumismäärää on haastavaa selvittää ilman kattavaa pohjaveden seurantaputkiverkostoa tai lähteiden virtaaman mittaamiseen yleisesti käytettyä käytettyä Thompsonin kolmiaukkopatoa (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjavesialueen reunoilla lukuisina esiintyvät pienet pohjavesipurkaumat voivat viitata siihen, että pohjavesiolot muodostuman sisällä eivät ole yhtenäiset (Kinnunen 2005). Muun muassa näiden lähdepuhkeamien ylivuotoa säännöllisesti mittaamalla, voidaan muodostuman vesitase selvittää.

Tässä selvityksessä maastotarkastelun rooli on muita menetelmiä suurempi, sillä rajattavien pohjavesialueiden suuren määrän vuoksi mittauksia voidaan tehdä vain tarkoin harkituilla kohteilla. Koska selvityskohteet ovat ensimmäisiä Kainuussa uudelleenrajattavia pohjavesialueita, ja ohjeistukset ovat tarkentuneet maastokäyntien jälkeen, käytössä ei vielä näiden kohteiden osalta ollut lämpökameraa.

5. Tulokset

5.1. Karttatarkastelu ja aiemmat tutkimukset

5.1.1. Kirkkosärkät

Kirkkosärkät sijaitsee Jaappaankankaan II-luokan pohjavesialueen ja muodostumia erottavan Könöspuron länsipuolella. Pohjavesialueen länsiosassa on peruskartalle merkitty Lasikallion kalliopaljastumia, jotka ovat noin 250 m korkeudella merenpinnan tasosta. Topografia loivenee muodostuman itäosaa kohden. POVET-tietokannan mukaan pohjaveden pääasiallinen virtaussuunta on itä, eli pohjavettä purkautuu etelän suuntaan virtaavaan Könöspuroon. Puro laskee ojitetulle suolle, eikä muodostuman reunoilla karttatarkastelun perusteella ole pohjavesipuhkeamiin viittaavia noroja tai puroja.

Kirkkosärkkien alueella on 2000-luvulla ollut kaksi maa-aineslupaa, ja maa-aineksenottoa on harjoitettu vuosikymmeniä. Valtaosa pohjavedenpinnan yläpuolisesta, käyttökelpoisesta materiaalista on jo hyödynnetty. Poski-hankkeen tutkimusraportissa (Rönty ja Eskelinen 2012) esitetään, että koska pohjavesialue ei ole vedenhankinnallisesti merkittävä, maa-aineksenottoa voitaisiin jatkaa myös pohjavedenpinnan alapuolelta ainakin muodostuman itäosassa, jossa on vielä jonkin verran hyödyntämätöntä, hyvälaatuista maa-ainesta. Kerrospaksuuksien riittävyyden varmistamiseksi lisätutkimusten todetaan kuitenkin olevan tarpeellisia.

Kainuun Poski 2011 – 2012-projektin yhteydessä Kirkkosärkkien pohjavesialueen itäosassa on toteutettu yksi maaperäkairaus 23.8.2012. Maa-aines on ollut soraista hiekkaa 730 cm syvyydelle, jossa kairauskalusto on osunut suureen lohkareeseen tai kallionpintaan. Pohjavedenpinnan taso on ollut noin 300 cm syvyydellä.

5.1.2. Sikahaaro

Sikahaaron ja sen pohjoispuolisen Pienen Hiidenvaaran moreenialueen (noin 275 m mpy) välissä virtaa Hiidenjoki, jonka mutka myötäilee Pienen Hiidenvaaran reunaa. Myös Sikahaaron harjanne taipuu keskiosissaan moreeniselänteen muotoa mukaillen luodekaakkosuuntaisesta länsi-itäsuuntaiseksi. Maaston topografia viettää itään, joten myös Hiidenjoki virtaa lännestä itään. Pohjavesialueen korkeimmat kohdat sijaitsevat korkeuskäyrästä perusteella alueen luoteisosassa. Ympäristön suoalueet on ojitettu, ja muodostuman länsiosaan, noin 200 m päähän soranottoalueen reunasta tietokantoihin on merkitty lähde.

POVET-tietokannasta ilmenee, että pohjaveden virtauskuvaa ei tunneta kovin kattavasti. Pohjavettä imeytyy muodostumaan synkliinisesti Pienen Hiidenvaaran suunnasta, vaikka Sikahaaro onkin pääosin pohjavettä ympäristöönsä purkava. Tämä voi vaikuttaa mahdollisen uudelleenrajauksen toteutukseen.

Sikahaaron pohjavesialueeseen kohdistuu metsätaloustoimia sekä ojitusten että metsähakkuiden muodossa. Ortoilmakuva- ja karttatarkastelun perusteella Sikahaaron selänne jatkuu maa-aineksenottoalueen itä- ja luoteispuolella metsätalouksikäytössä olevana metsänä, ja sorakuopan reunan luoteispuolella oleva hakkuuaukea jatkuu lähen pohjaveden muodostumisalueen rajalle saakka. Tämän lisäksi suurin osa alueen maa-

aineksesta on hyödynnetty (Rönty 2011), ja soranottoa jatketaan voimassaolevan maa-ainesluvan puitteissa.

5.1.3. Lauttalammenharju

Pohjavesialue on noin 1,5 km pitkä harju, joka koostuu kolmesta kapeasta ja jyrkkäpiirteisestä selänneestä. Läntinen harjanne on noin itä-länsisuuntainen ja keskimäinen länsiosastaan koillis-luonaissuuntainen, mutta taipuu keskivaiheillaan itä-länsisuuntaiseksi. Itäisin harjanteista on koillis-lounaissuuntainen. Lauttalammenharjun ympäristö vaikuttaa paikkatietotarkastelun perusteella topografialtaan suhteellisen loivalta, ja Pärsämönvaara (noin 257,5 m mpy) harjuselänneen luoteispuolella on ainut pohjavesialuetta korkeampi kohouma. Muodostuman koillispuolella on ojitettua suota, ja eteläosistaan pohjavesialue rajautuu pienvesistöihin. Lauttalammenharjun ja sen eteläpuolella sijaitsevan Metsokankaan kohouman välissä kulkee Lauttalamelta itään päin, Syväjärveen, virtaava puro. Läntisen ja keskimäisen selänneen välissä virtaa Hämeenpuro.

Läntisintä selännettä halkoo Lauttalammen pohjoispuolella kulkeva tie, jonka molemmin puolin on otettu hiekkaa. Ortoilmakuvan perusteella maa-aineksenotto on ollut maltillista, ja alue on metsittynyt. Kainuun POSKI 2011 – 2012 -hankkeen (Eskelinen 2011) yhteydessä tehdyillä maastokäynneillä on kuitenkin havaittu, että ottoalueen länsiosassa maa-aines on poistettu pohjavedenpinnan tasoon saakka. Edellä mainittujen maa-aineksenottoaikojen lisäksi pohjavesialueen itäisellä pohjoisreunalla on hiekkakuoppa.

Pohjaveden virtaussuunnasta ei ole tehty riittävän laajoja tutkimuksia, jotta suuntanuolia olisi voitu merkitä kartoille. Pintavedet virtaavat pääsääntöisesti pohjoisen vaaroilta etelään, mutta pohjavesien virtaukseen vaikuttavat tämän lisäksi myös mm. maa-aineksen ominaisuudet, mahdolliset kalliokynnykset ja harjun sisäinen rakenne (Kinnunen 2005). Maastossa arvioidaan virtauksia mahdollisten pohjavesipuhkeamien sijainnin, karttatarkastelun ja alustavien maatutkaluotausprofiilien perusteella.

Ortoilmakuvassa ei näy vastikään toteutettuja avohakkuita harjuselänneellä, mutta metsää on ilmeisesti harvennettu jonkin verran. Pohjavesialueella ei ole paikkatietoaineistoihin merkittäviä lähteitä, mutta sen itäosassa on harjun reunalta etelässä sijaitsevaan Syväjärveen virtaava puro, mikä viittaa pohjavesipuhkeamaan.

5.1.4. Hanhisuonharju

Lauttalammenharjun itäpuolella harjujakso jatkuu itäkoillis-länsilounassuuntaisena, noin 2,5 km pitkänä Hanhisuonharjuna. Muodostumia erottaa Syväjärveen Hanhisuonharjun pohjoispuolelta virtaavan puro. Muodostumaa leikkaa sen itäosassa kulkeva tie, jonka itäpuolella selänne jatkuu vielä noin 50 m matkan. Pohjavesialue halkoo suota, joka sen eteläpuolella on tiheästi ojitettua. Pohjoispuolen suoalue on paikkatietotarkastelun perusteella vetisempi ja vähäpuustoisempi, eikä maastokartalle ole merkitty ojituksia harjun pohjoisreunan läheisyyteen. Lähimaaston korkeimmat kohdat ovat pohjavesialueen koillispuolella sijaitseva Mesiönvaara (noin 255 m mpy) ja kaakkoispuolinen Hanhivaaran kohouma (noin 250 m mpy).

Mesiönvaaran luonnonsuojelualue rajautuu Hanhisuonharjun pohjavesialueen koilliskulmaan. Hanhisuonharjun itäosan harjulaajentuma on Metsähallituksen omissa tietokannoissa suunniteltu aarnimetsäksi. Pohjavesialueelta ei ole otettu maa-ainesta todennäköisesti vähäisen tiestön sekä vesistö- ja suoalueisiin rajautumisen vuoksi (Eskelinen 2011). POVET-tietokannan mukaan tieleikkauksista ja harjun reunoilta tehtyjen havaintojen perusteella pinnan maa-aines on hienoa hiekkaa.

Edellisen rajauksen yhteydessä pohjavesialueen on tulkittu olevan pääasiallisesti antikliininen, ja POVET-tietojen mukaan harjuaines jatkuu suonpinnan alapuolella. Pohjavesialueelle ei ole merkitty lähteitä paikkatietokantoihin, mutta harjulaajentuman länsipuoleisella suoalueella, aarnialuesuunnitelman rajojen sisällä, on kaksi muodoltaan luonnontilaiselta vaikuttavaa puroa, joiden toiset päät sijaitsevat harjuselänteen reunalla. Purojen pohjavesivaikutteisuutta arvioidaan maastokäynnillä. Suolla on myös maastokartalle merkitty lähde, mutta se sijaitsee yli 200 m pohjavesialueen rajasta pohjoiseen.

Ortoilmakuvasta (kuva 11) näkee selvästi metsätaloustoiminnan vaikutuksen. Harjun laella on kaksi hakkuuaukeaa, joista toinen noin 300 m pitkä, ja sijaitsee välittömästi suunnitellun aarnialueen länsipuolella. Toinen, noin 200 m pituinen avohakkuu on toteutettu noin 500 m itään selänteen länsilaidasta.

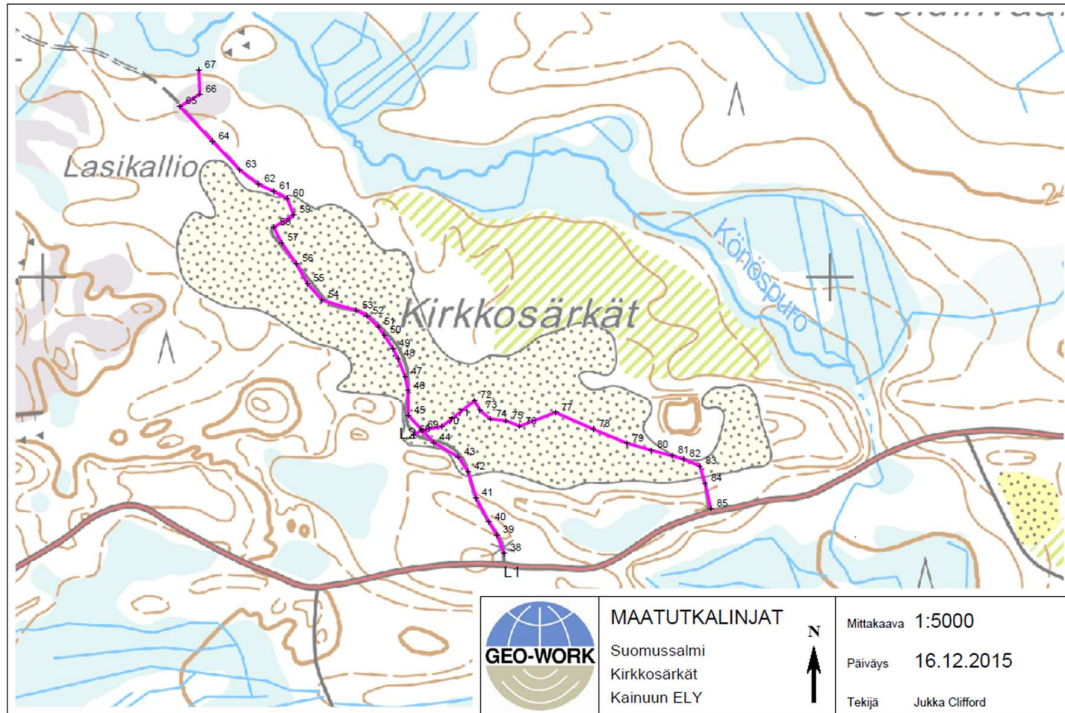


Kuva 11. Hanhisuonharjun pohjavesialueella on kaksi ortoilmakuvassa näkyvää hakkuuaukeaa. Pohjavesialueen koillispuolella on harmaalla merkitty Mesiönvaaran luonnonsuojelualue (Maanmittauslaitos 2017 d).

5.2. Maatutkaluotaukset

5.2.1. Kirkkosärkät

Kirkkosärkillä tehtiin maatutkaluotaukset kahdella harjuselännettä mukailevalla linjalla (kuva 12). Pohjoisluode-eteläkaakkoosuuntainen linja 1 kulkee käytännön syistä maa-aineksenottoaikalta pohjoisluoteen kalliopaljastumalle kulkevaa soratietä pitkin. Siten on pyritty saamaan hyvä yleiskuva kallionpinnan tason vaihteluista suhteessa pohjavedenpintaan. Linja 2 risteää linjan 1 kanssa soranottoalueen lounaisosassa, jossa myös selänne taipuu noin itä-länsisuuntaiseksi. Luotausreitti kulkee maa-aineksenottoalueen itäreunaan, ja kattaa pohjavesialueen alavimman osan, jolla ei paikkatietotarkastelun perusteella ole kalliopaljastumia. Linjalta 2 pyrittiin ennen kaikkea saamaan tietoa pohjaveden muodostumisen kannalta merkittävien maa-ainekkerrosten paksuuksista ja pohjavesialueen hydraulisesta yhtenäisyydestä.



Kuva 12. Kirkkosärkkien maatulkualueen linjat 1:5 000 maastokartalle merkittyinä (Clifford 2015 a).

Luotausprofiilien (liite 1A) perusteella Kirkkosärkillä kalliopinta on lähellä maanpintaa erityisesti pohjavesialueen länsi- ja pohjoisosissa, ja paikoitellen kalliokynnykset ovat pohjavedenpintaa korkeammalla. Havainto on yhdenmukainen paikkatietotarkastelun tulosten kanssa. Maa-aines on konsultin arvioissa tulkittu soraksi ja hiekaksi.

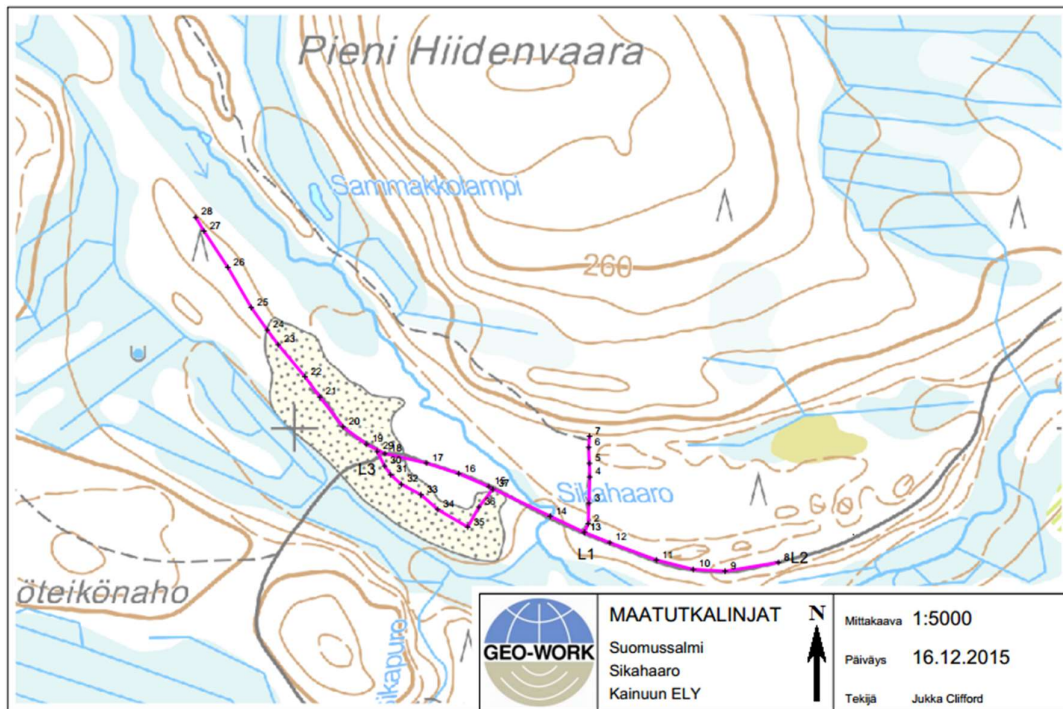
5.2.2. Sikahaaro

Sikahaaron pohjavesialueen rakenteesta pyrittiin saamaan kattava kuva kolmella maatulkualueella (kuva 13). Linja 1 sijaitsee Hiidenjoen itäpuolella, Sikahaaron selänteen mutkan kohdalta pohjoiseen kulkevan metsäautotien suuntaisesti pohjoiseen, kohti Pienen Hiidenvaaran moreeniselännettä. Koska POVET-tietokannan mukaan moreeniselänteeltä valuvaa vettä imeytyy synkliinisesti Sikahaaron muodostumaan, luotauksella pyritään selvittämään pohjavedenpinnan tasoa moreenikummun reunalla.

Linja 2 kattaa suurimman osan pohjavesialueesta sen laen pituussuunnassa. Idässä se kulkee pitkin yksityistietä maa-aineksenottoalueen keskiosaan saakka, ja jatkuu soranottoalueen halki kohti luodetta. Pisteessä 24 sijaitsee tämänhetkisen kaivualueen reuna. Luotauslinjan avulla on pyritty määrittämään pohjavesiolojen vaihteluista

muodostuman eri osissa. Linja ulottuu Hiidenjoen molemmille puolille, ja kattaa sekä kaivamatonta selänteen osaa että soranottoaluetta, jolla maa-ainesta on POVET:in mukaan otettu paikoitellen pohjavedenpinnan tasoon saakka.

Luotauslinjan 3 alku- ja päätepisteet sijaitsevan linjan 2 varrella. Linja kattaa soranottoalueen kaakkoisosan, ja pisteessä 35 se kääntyy 45 astetta luode-kaakkosuuntaisesta koillis-lounassuuntaiseksi. Muoto mahdollistaa sen, että Pienen Hiidenvaaran ja Hiidenjoen vaikutusta pohjavedenpinnan tasoon voidaan tarkastella yhden, maa-aineksenottoalueella sijaitsevan linjan avulla. Linjan 3 pisteisiin 35 – 37 voi siten suhtautua kuten poikkileikkaukseen.

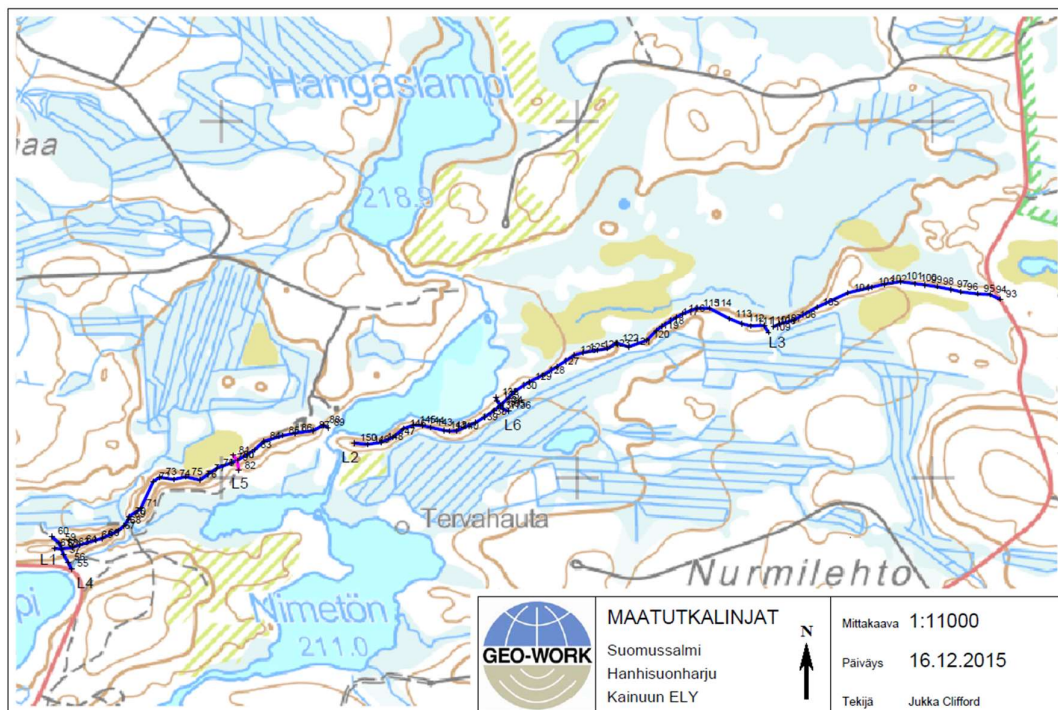


Kuva 13. Sikahaaran maatulkuotauslinjat 1:5 000 maastokartalle merkittyinä (Clifford 2015 b).

Sikahaaran alueelta tehdyissä maatulkuotausprofiileissa (liite 1B) oli erityisesti muodostuman keskiosissa paljon rajapintoja, joiden materiaalin laadun määrittäminen oli ilman kairausaineistoa tehdyissä alustavissa tulkinnoissa haastavaa. Kairauksessa S1 saatua informaatiota maalajeista käytettiin tulkintojen tarkentamiseen.

5.2.3. Lauttalammenharju ja Hanhisuonharju

Koska Lauttalammenharju ja Hanhisuonharju ovat vierekkäisiä muodostumia samalla harjujaksolla, maotutkaluotauksissa niitä käsiteltiin käytännön syistä yhtenä kohteena. Luotausalue nimettiin harhaanjohtavasti Hanhisuonharjuksi, vaikka osa linjoista sijaitsee Lauttalammenharjun puolella. Tutkimusalueella on kaikkiaan kuusi maotutkaluotauslinjaa, joista kolme on Lauttalammenharjulla ja kolme Hanhisuonharjulla (kuva 14).



Kuva 14. Lauttalammenharjun ja Hanhisuonharjun maotutkaluotauslinjat 1:11 000 maotokartalle merkittyinä (Clifford 2015 c).

Muihin selvityskohteisiin verrattuna samaan harjujaksoon kuuluvat Lauttalammen- ja Hanhisuonharju ovat kapeita ja pitkiä muodostumia. Tämän vuoksi harjun lakea myötäileviä luotausmetrejä linjoilla 1, 2 ja 3 on huomattavasti enemmän suhteessa poikkileikkauslinjojen 4, 5 ja 6 metrimääriin. Pitkiltä luotauslinjoilta katsottiin saatavan kairauspisteiden valinnan kannalta riittävästi havaintoja maa-aineksen laadusta, kallionpinnan tasosta, pohjavesialueiden hydraulisesta yhtenäisyydestä ja pohjavedenpinnan tasosta muodostumien eri osissa. Poikkileikkauksia on tutkimusalueen itä-länsisuuntaiseen pituuteen nähden vähän. Niiden tarkoituksena on lähinnä varmistaa, että harjujen leveysuuntainen profiili vastaa riittävästi tyypillistä harjun rakennetta, jotta tulkintoja voidaan perustaa tälle olettamukselle.

Maa-aines on luotausprofiileista (liite 1C) tehdyn alustavan tulkinnan perusteella Lauttalammenharjulla (linjat 1, 4 ja 5) pääosin hiekkaa, mutta kallionpinnan vaihteluiden muodostamiin syvänteisiin on kerrostunut hiekkaista soraa, karkeaa hiekkaa tai hienoa soraa. Pohjavesikerrosta suojaa muutoin yli 10 m paksuinen maa-aineskerros, mutta läntisimmän selänteen itäpuolella olevassa notkelmassa pohjavedenpinta yltää lähes maanpinnan tasoon. Muodostuman pohjavesikerroksen paksuus on noin 3 - 12 m. Poikkileikkauksista käy ilmi, että muodostuman pintaosassa aines on jonkin verran hienompaa kuin sen ytimessä, jonka on tulkittu koostuvan karkeasta hiekasta. Linjalla 4 pohjavedenpinta on korkeammalla muodostuman eteläpuolella, kun taas linjalla 5 tilanne on päinvastainen.

Hanhisuonharjun linjoilla (2, 3 ja 6) maa-aines tulkittiin hienommaksi kuin Lauttalammenharjulla. Muodostuma koostuu pääosin hienosta hiekasta ja siltistä, mutta kallionpinnan läheisyydessä on paikoitellen hieman soraa. Pohjavedenpinnan yläpuolella on pääosin 8 – 10 m paksuinen maa-aineskerros, mutta selänteiden välisissä notkelmissa suojakerroksen paksuus on alimmillaan 4 m. Pohjavedenpinta pysyy suhteellisen tasaisena luotauslinjojen varrella. Pohjavedellä kyllästyneen kerroksen paksuus vaihtelee välillä 3 – 10 m linjan 2 kahta kalliokynnystä lukuun ottamatta. Harjua leveys suunnassa leikkaavalta linjalta 6 käy ilmi, että muodostuman ytimessä maa-aines on tulkittu hiekaksi, kun se harjun pinta-osissa on hienoa hiekkaa ja siltiä.

5.3. Maastotarkastelu

5.3.1. Kirkkosärkät

Maastokäynnillä 30.8.2016 kiinnitimme erityishuomiota Kirkkosärkkien alueelta löytyviin kalliokynnyksiin ja pyrimme hahmottamaan alueen pinnanmuotoja pohjavesiolojen ymmärtämiseksi. Tarkoituksena oli lisäksi tarkastella, kuinka hyvin saavutettavissa maatutkaluotausten perusteella suunnitellut kairauspisteet ovat.

Kirkkosärkkien maasto oli pääosin helppokulkuista, ja suunnittelimme kairauspisteet jo olemassa olevalle maa-aineksenotto paikalle. Löysimme kalliopaljastuman ja muutaman pohjavesilammen pohjavesialueen keskiosan luoteispuolelta. Lajittunutta soraa ja karkeaa hiekkaa on maatutkaluotausprofiilien ja maastotarkastelun perusteella kerrostunut kallioperässä oleviin matalahkoihin syvänteisiin, mutta muutoin materiaali oli silmämääräisten havaintojen perusteella kivistä soraa. Myös muodostuman koillisosasta

löytyi kalliopaljastuma. Käytämme tätä ja keskiosan kalliopaljastumaa kalliovarmistuksina, ja suunnittelimme lisäksi yhden kalliovarmistuksen vuoksi tehtävän maaperäkairauksen niin ikään alueen keskiosiin. Maa-aineksenotto paikalta tehtyjen havaintojen perusteella edellä mainittujen kalliopaljastumien eteläpuolella pohjaveden virtausta estäviä kalliokynnyksiä ei ole. Pintamaa on melko huonosti lajittunutta kivistä soraa myös alueen eteläosassa.

5.3.2. Sikahaaro

Maastossa pyrimme paikantamaan optimaaliset kairauspisteet luotausprofiileja apuna käyttäen, tarkentamaan yleiskäsitystämme alueesta ja löytämään maastokartalle merkityn lähteen.

Harjuselänteellä on toteutettu metsänhakkuuta ja maa-ainesta on otettu laaja-alaisesti, kuten POVET-tietokannastakin ilmeni. Hiidenjoki virtaa tien alapuolelta etelään muodostuman keskiosissa, maa-aineksenotto paikan itäpuolella. Näkyvillä olevan maa-aineksen laatu vaihteli lajittuneesta aineksesta diamiktonin muodostuman eri osissa. Pohjavesialueen luoteisosassa sijaitsevan maa-aineksenottoalueen reunan seinämästä näimme selänteen poikkileikkauksen sen yläosasta. Pinnan materiaali on huonosti lajittunutta kivistä soraa, joka vuorottelee lohkarakerrosten kanssa (kuva 15).



Kuva 15. Sikahaaron harjun pinnan materiaali maa-aineksenotto paikalla on hyvin kivistä soraa.

Resurssien optimoimiseksi jokaiselle maatutkaluotauslinjalle suunniteltiin tehtäväksi yksi kairaus, jotta niukalla kairausaineistollakin saataisiin riittävä havaintoaineisto uudelleenluokittelun tueksi. Paikkatietotarkastelun pohjalta tehty kairaus suunnitelma todettiin toteuttamiskelpoiseksi, sillä maa-aineksenoton ja metsätaloustoimien yhteydessä alueelle on muodostunut käyttökelpoisia ajoväyliä. Pisteet ovat helposti saavutettavissa myös kookkaalla kairauskalustolla.

Maastokartalle merkityn lähteen ympäristö (kuva 16) oli joka suunnalta ojitettu, ja alueen lammikoihin oli päätyttyä harvennushakkuiden puuainesta. Alueen vesilammikoiden vesi oli väriltään rusehtavaa, eikä pohjavesivaikutusta ilmentävää lajistoa löytynyt.



Kuva 16. Sikahaaron muodostuman lounaispuolelle maastokarttaan merkityn lähteen kohdalla oli ojitettua suota, jonka vesiesiintymien sävy oli punaruskea.

5.3.3. Lauttalammenharju

Lauttalammenharjua ja Hanhisuonharjua erottaa puro, joka laskee Syväjärven kautta Nimettömän järveen. Lauttalammenharjulla tehtiin maastotarkastelua 30.8.2016, 6.10.2016 ja kairausten yhteydessä marraskuun lopulla vuonna 2016. Elokuussa keskityimme kairauspisteiden valintaan, karttatarkastelun päätelmien varmentamiseen ja yleiskuvan muodostamiseen alueesta. Lokakuun maastokäynnillä pääpaino oli pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien kartoittamisessa. Marraskuussa aiemmin tehtyjä havaintoja varmennettiin, ja kairausten onnistumisen kannalta oleellisia seikkoja tarkasteltiin.

Selännteillä todettiin kasvavan kuivaa kangasmetsää (kuva 17a), ja ne olivat piirteiltään kapeita ja jyrkkäreunaisia. Mänty havaittiin vallitsevaksi puulajiksi, ja harjulla on myös männynkeloja (17b). Paikkatietotarkastelun yhteydessä tehtyä kairausuunnitelmaa jouduttiin maastotarkastelun pohjalta muuttamaan siten, että kairauspisteitä ei tule

lainkaan muodostuman sisäosiin, vaan sekä itä- että länsiosan maa-aineksenotto paikoille. Kairauskalusto ei pääsisi liikkumaan kapeita ja tiheäpuustoisia selän teitä pitkin ilman tarpeetonta kasvillisuuden vahingoittamista ja kaluston toimintakyvyn riskeeraamista.



Kuva 17a. Lauttalammenharjun selän teillä kasvaa kuivaa kangasmetsää, jonka pääpuulajina on mänty. **17b.** Pohjavesialueen keskimmäisellä selän teellä on männynkeloja.

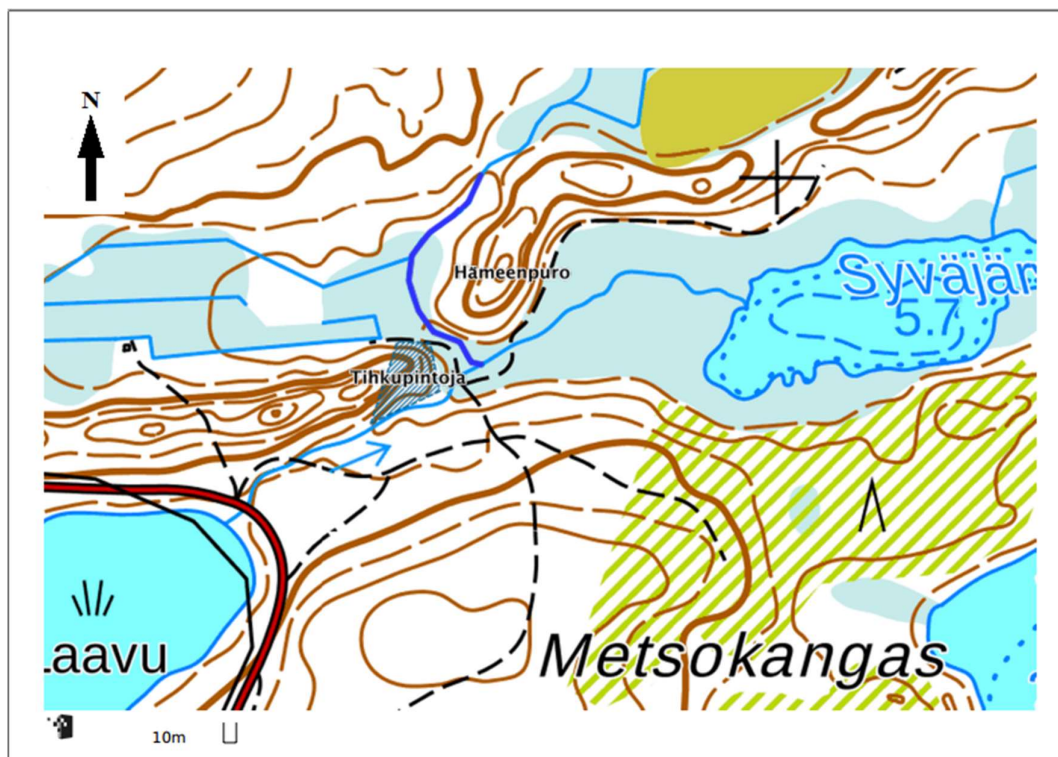
Lauttalammen pohjoispuolella sijaitsevalla maa-aineksenotto paikalla, jolla kairaus L1 päätettiin toteuttaa, seinämän materiaali koostui alaspäin karkenevasta, hyvin lajittuneesta hiekasta. Kasvukerroksen alapuolella hiekka oli hienoa, ja noin syvyydellä 50 – 100 cm oli ristikerroksellista keskikarkeaa hiekkaa karkean hiekan laminoilla. Tämän alapuolella maa-aines oli karkeaa hiekkaa. Lauttalammenharjun itäosassa sijaitsevalta maa-aineksenotto paikalta havainnoitiin, että hyvin lajittuneen karkean hiekan 50 – 100 cm paksut kerrokset vuorottelivat noin 20 cm paksuisten hiekkaisen keskikarkean soran kerrosten kanssa. Toinen pohjavesialueella toteutettavista kairauksista sijoitettiin tälle hiekkakuopalle.

Karttatarkastelussa kiinnitettiin huomiota luotauslinjojen 1 ja 2 välissä sijaitsevaan, harjuselänteiden reunalta Syväjärveen virtaavaan puroon. Maastokäynnillä piste paikannettiin, ja puron todettiin saavan alkunsa lähteestä, johon on asennettu kaivonrengas. Kaivon ympärillä on säilynyt jonkin verran lähde-ekosysteemiä ilmentävää lajistoa. Vesi tulvi kaivonrenkaan ympäristöön sekä elo- että marraskuun maastokäynneillä (kuva 18). Vettä maistettiin marraskuussa, ja se todettiin kirikkaaksi ja maultaan moitteettomaksi.



Kuva 18. Hanhisuonharjun ja Lauttalammenharjun välisen puron länsipuolella, luotauslinjan 1 itäpäässä sijaitseva lähde tulvi kaivon ympäristöön maastokäynneillä.

Tarkastellessamme maastokäynteiden tuloksia linjalta 1, havaitsimme pohjavedenpinnan tason olevan hyvin lähellä maanpintaa lännessä katsoen ensimmäisen ja keskimmäisen harjanteen välissä sijaitsevassa notkelmassa. Maastotarkastelulla 30.8.2016 havaitsimme tuloksin vastaavan todellisuutta, ja alueelta löytyi pieniä pohjavesipuhkeamia, tihkupintoja ja puro, jossa virtasi pohjavettä. Kohteiden sijainti maastokartalla on esitetty kuvassa 19. Notkelmaan laskeuduttaessa kasvillisuudessa havaittiin selkeä muutos verrattuna harjuselänteiden kuivaan kangasmetsään. Alue oli kokonaisvaikutelmaltaan muuta ympäristöä rehevämpi, ja erityisesti putkilo- ja ruohokasvillisuuden osuus kasvoi huomattavasti.



Kuva 19. Lauttalammenharjun pohjavesipuhkeamien sijainti. Hämeenpuron indikaattorilajiston reunustama osuus on korostettu tummansinisellä, ja tihkupintojen esiintymisalue esitetään sinisellä vinoruudukolla (Maanmittauslaitos 2017c).

Koska tietämyksemme pohjavesipuhkeamien indikaattorilajistosta oli vielä elokuussa puutteellista, kohteelle palattiin lokakuussa pohjavedestä riippuvaisen lajiston tunnistusta varten. Tihkupinnat erottuivat notkelman lännenpuoleisesta seinämästä kuivana maastopäivänä, sillä niiden vaikutuksesta harjun reunoilla oli paikoitellen kasteisia maksa- ja lehväsammalpopulaatioita. Hämeenpuron ympärillä pohjavesivaikutteista lajistoa kasvoi vielä tiheämmin, ja lähes kaikki puroa reunustavat pinnat olivat lehvä- ja maksasammalten peittämät (kuva 20).



Kuva 20. Hämeenpuron reunamilla kasvoi runsaasti lehvä- ja maksasammalia.

5.3.4. Hanhisuonharju

Hanhisuonharjun maastotarkastelu toteutettiin 6.10.2016, ja joitain havaintoja varmennettiin vielä kairausten yhteydessä. Alun perin kairauspiste suunniteltiin pohjavesialueen itäosassa sijaitsevan harjulaajentuman kohdalle, sillä luotausprofiilin perusteella pohjavesikerros on paksuimmillaan muodostuman tässä osassa. Ollessamme yhteydessä maanomistajaan, joka on tässä tapauksessa Suomussalmen kunta, ilmeni että suunnittelemamme kairauspiste sijaitsi Metsähallituksen maankäyttösuunnitelmassa aarnimetsän alueella. Koska harjun tätä osaa ei maastotarkastelulla tehdyn arvion perusteella olisi pystytty ohittamaan kairakalustolla, siirrettiin kairauspisteen sijaintia lähemmäs harjunselännettä sen itäosassa leikkaavaa tietä.

Luotauslinjan 2 osalta Hanhisuonharju koostuu useista matalista kohoumista, jotka kuitenkin erottuvat maastossa harjuselänteenä. Linjan 3 päässä on harjua leikkaava tie, jota pitkin selvitysalueelle kuljetaan. Selänne erottui helposti ympäröivästä, alavasta maastosta. Hanhisuonharjun molemmin puolin on suota ja pienvesiä. Harjanteen kasvillisuus on kuivahkoa kangasta, ja luotauslinja kulkee kahden hakkuuaukean läpi. Harjulaajentuman alueella metsä on luonnontilaisempaa kuin pohjavesialueen muissa osissa, mikä ilmenee muun muassa lahopuiden ja kelojen määrässä (kuva 21).



Kuva 21. Hanhisuonharjun harjulaajentuma on Metsähallituksen maankäyttösuunnitelmassa aarnimetsän alueella.

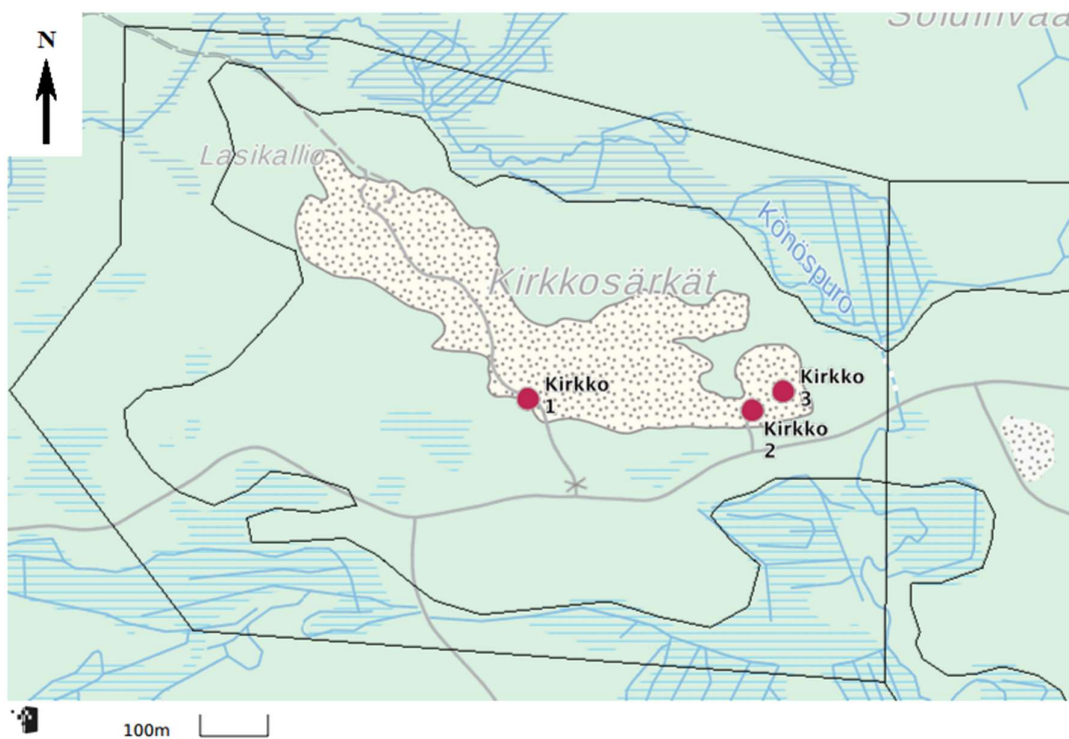
Kasvillisuus oli hakkuuaukeilla paikoin kulunut, joten oli havaittavissa, että pintamaa oli hienoa ja keskikarkeaa hiekkää. Luotauslinjan 3 keskivaiheilla oli eläimen kaivama onkalo, josta sai tehtyä maa-aineshavainnon. Lajite oli tässä pisteessä hienoa hiekkää. Pohjavesialueen itäosassa olevan tieleikkauksen kohdalla maa-aines oli niin ikään hienoa hiekkää.

Paikkatietotarkastelun yhteydessä kiinnitettiin huomiota luotauslinjojen 2 ja 3 välisellä suoalueella sijaitseviin puroihin, joiden toiset päät ulottuivat harjun reunamille. Maastokäynnillä kyseiseltä alueelta ei löytynyt pohjavesivaikutteista kasvilajistoa, ja vesi oli väriltään punaruskeaa.

5.4. Kairaukset

5.4.1. Kirkkosärkät

Pohjavesialueella tehtiin 15 – 16.11.2016 kolme kairausta, jotka nimettiin lännestä itään juoksevin numeroin K1 – K3. Kairauksen sijainnit pohjavesialueella on esitetty kuvassa 22. Liitteen 2 taulukossa 1 on esitetty kairauksissa ilmenneet maa-aineskerrokset. Koska emme palanneet kairauksia seuraavana päivänä kohteelle, pohjavedenpinnat on mitattu kairauksen yhteydessä maaputkien läpi, ja varmistusmittaus on tehty putkien poiston jälkeen, mikäli kairareikä ei täyttynyt maa-aineksella.



Kuva 22. Kairauspisteet Kirkkosärkkien pohjavesialueella (Maanmittauslaitos 2017 f).

Kairaus pisteellä K1 (N7214198.229 E29499303.988) sujui hitaasti, ja materiaali oli hyvin kivistä ja huonosti lajittunutta. Kivien määrä lisääntyi 340 cm alapuolella. Pohjavedenpintaa ei saavutettu, vaikka kairausta jatkettiin 700 cm syvyydelle. Pohjaan ajettiin näytteenotin, ja siihen tarttui jauhautunutta kiveä. Tällä syvyydellä oli siis joko kallionpinnan taso tai suuri lohcare.

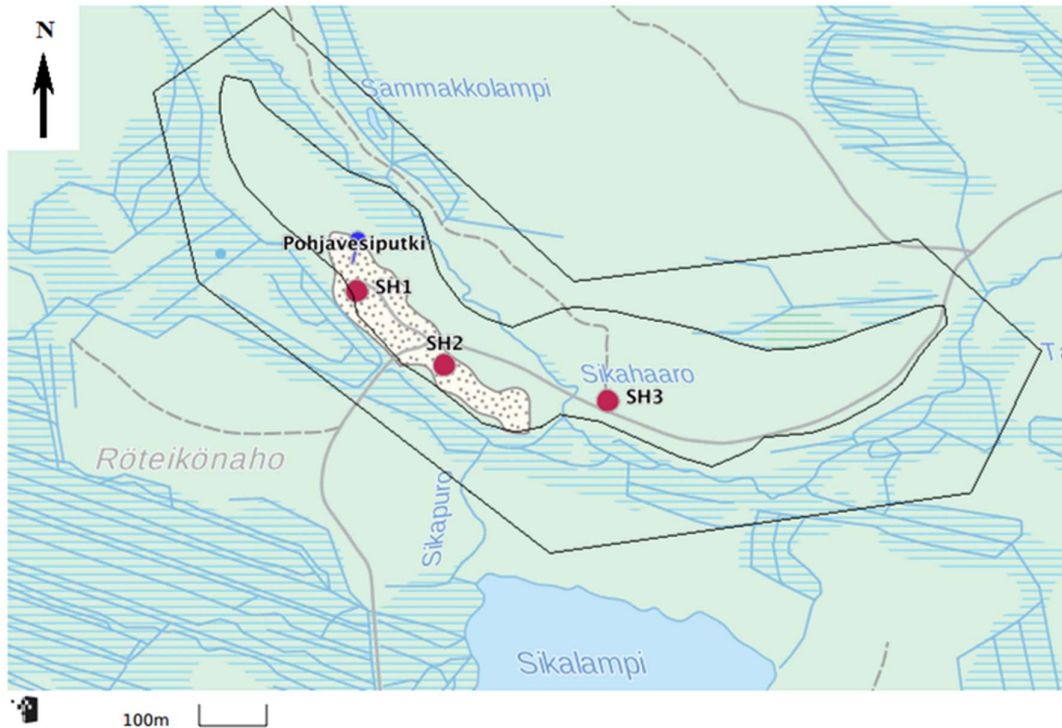
Pisteellä K2 (N7214171.131 E29499633.236) kerrokset koostuivat huonosti lajittuneen karkean soran ja kohtalaisesti lajittuneen hiekan kerroksista 600 cm syvyyteen saakka. Tämän alapuolella heikosti lajittuneen soran kerrokset vuorottelivat kivikerrosten kanssa.

Otimme näytteen syvyydeltä 721 - 821 cm, koska kairaustuntuma viittasi sorakerrokseen. Metrin näyteputkeen tuli materiaalia kolmesta eri maaperäkerroksesta. Näytteenottimeen jääneet kivet olivat kulmikkaita. Kallionpinta oli 920 cm syvyydellä, ja teimme kalliovarmistuksen ajamalla porakankea 300 cm kallionpinnan alapuolelle. Maaputkien läpi mitattu pohjavedenpinnan taso oli 248 cm syvyydellä. Putkien poiston jälkeen tehdyssä mittauksessa syvyys oli 279 cm. Maaputkien ollessa 500 cm syvyydellä kairakoneen öljynimeytysletku meni rikki, joten se jouduttiin vaihtamaan. Kairaukseen ei aiheutunut merkittävää häiriötä tämän seurauksena.

Pisteellä K3 (N7214197.597 E29499679.160) materiaali oli vaikeasti kairattavaa, ja maaperä koostui kivisen soran ja soraisen karkean hiekan kerroksista. 620 cm syvyydellä epäilimme saavuttaneemme kallionpinnan, sillä maaputket tarttuivat kiinni pohjaan. Ajoimme porakankea maaputkien läpi kyseiselle syvyydelle tehdäksemme kalliovarmistuksen. Kävi ilmi, että kyseessä olikin 810 cm syvyydelle ulottuva hyvin kivisen soran kerros. Jatkoimme kairausta sen alapuolella olevan kivikerroksen läpi seuraavaan sorakerrokseen. Maaputket olivat vääntyä rikki, joten ajan säästämiseksi ja kaluston rajoitusten vuoksi lopetimme kairaukset tällä pisteellä syvyyteen 980 cm. Maaputkia poistettaessa syvimmällä olevaa putkea ei saatu nostettua ylös, joten se jäi kairareikään. Pohjaveden pinta oli 208 cm syvyydellä maaputkien läpi mitattuna.

5.4.2. Sikahaaro

Sikahaarolla tehtiin kolme kairausta 16 – 17.11.2016, ja näytepisteet nimettiin juoksevalla numeroinnilla S1 – S3 lännestä itään (kuva 23). Kairauksissa ilmenneet maanaineskerrokset on esitetty syvyyden mukaan liitteen 2 taulukossa 2.



Kuva 23. Kairauspisteet Sikahaaran pohjavesialueella (Maanmittauslaitos 2017 f).

Pisteessä S1 (N7202139.735 E29477392.731) kivisen karkean soran ja karkean hiekan kerrokset vuorottelivat 420 cm syvyyteen saakka. Näyte otettiin syvyydeltä 313 – 420 cm, ja se koostui kivisestä sorasta, jonka välissä oli karkean hiekan kerros. Näytteen kivet olivat kulmikkaita ja halkaisijaltaan noin 3 – 5 cm. Näytteenottotason alapuolella oli kivi- ja hiekkakerrosten vuorottelua 1020 cm syvyydellä olevaan kallionpintaan saakka. Pohjavedenpinta oli kairauksen jälkeen 95 cm syvyydellä, ja seuraavan päivän tarkistusmittauksessa 89 cm syvyydellä.

Maa-aineskerrokset pisteellä S2 (N7202026.972 E29477518.595) olivat ohuempia kuin pisteellä S1. 530 cm syvyyteen saakka ne koostuivat 40 – 100 cm paksuisista karkean hiekan ja soran kerroksista. Näyte otettiin syvyydeltä 515 – 625 cm. Syvyydellä 530 – 640 cm oli pääosin soraa, mutta myös muutamia ohuita kivikerroksia. Näyte ei sisältänyt hienoaainesta ja siinä olevat kivet olivat hieman pyöristyneitä. Tämän tason alapuolella oli kiviä ja lohkareita 900 cm syvyyteen saakka. Syvyydellä 900 – 1450 cm oli alaspäin hienonevan soran kerros. Tästä kerroksesta maa-aineshavainnot oli tehty maaputkista paineen vaikutuksesta pinnalle sinkoutuneen materiaalin perusteella. Syvyydellä 950 cm putkista purkautunut materiaali oli harmaata, keskikarkeaa, hyvin lajittunutta soraa. Syvemmillä aines muuttui hienoksi soraksi. Kallionpinta määritettiin alkamaan 1450 cm syvyydeltä.

Pohjavedenpinta oli kairauksen jälkeen mitattuna 85 cm syvyydellä, mutta se on voinut kohota kairauksen aiheuttaman paineen tasoittua. Kairareikä oli kuitenkin umpeutunut, kun olimme kohteella seuraavan kerran. Kairareikästä purkautuva vesi oli väriltään punertavaa, ja se tuoksui voimakkaasti raudalle. Pohjavesi ei kirkastunut merkittävästi kairauksen aikana.

Kairauspiste S3 (N7201965.386 E29477758.491) jouduttiin siirtämään noin 1,5 m lähemmäs tietä, sillä kairaussuunnitelman mukaisessa pisteessä maaputket osuivat jo 1 m syvyydellä läpäisemättömään materiaaliin. Toisella yrittämällä kairaus onnistui. Pinnalla oli 130 cm saakka soraa, ja tämän alapuolella kivikerros. Syvemmällä oli noin neljän metrin paksuudelta alaspäin karkenevaa hiekkaa, hieman yli 1 m kerros hiekaista soraa ja 30 cm paksuinen kerros hienoainesta, joka kenttämäärityksen perusteella on hienoa silttiä. Näytteet otettiin syvyyksiltä 555 – 650 cm ja 730 – 850 cm. Syvemmältä otetun näytteen S3b pohjassa oli tiivistä diamiktonia, johon painautuessaan maaputket vääntyivät huonoon asentoon. Maaputkia ei saatu ilman kohonnutta rikkoutumisriskiä ajettua tämän syvyyden alapuolelle. Niinpä päätimme kairauksen 850 cm syvyydelle. Pohjavedenpinta oli noin 50 cm syvyydellä kairaustasosta.

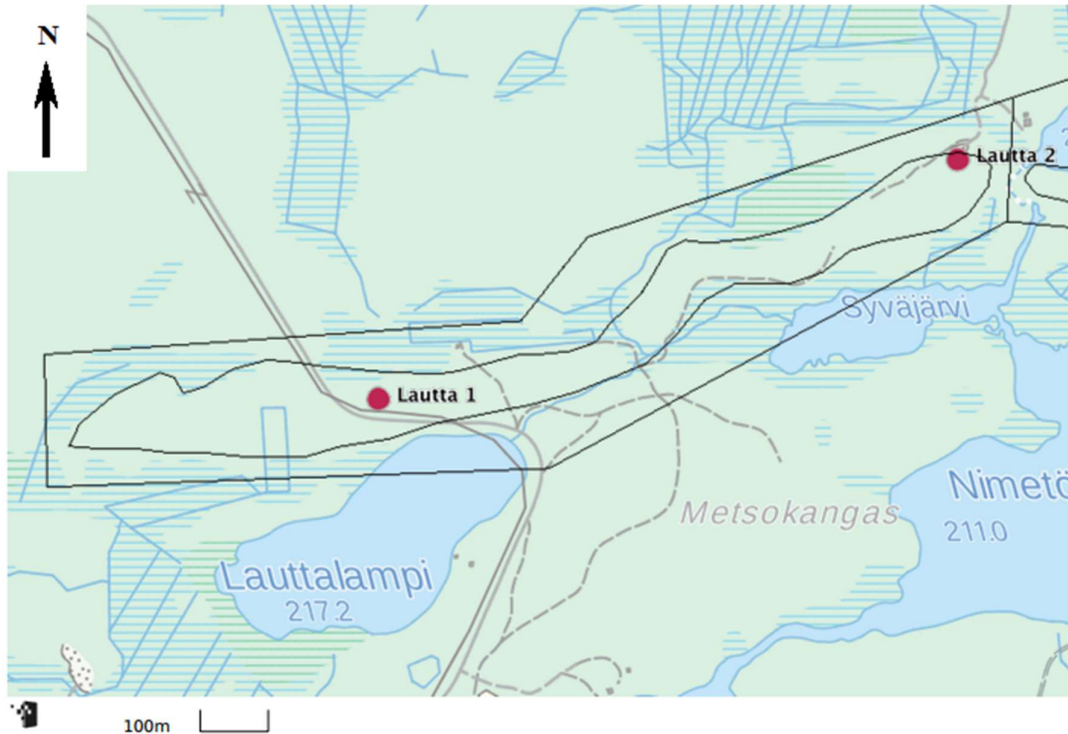
Sikahaarolle asennettiin 23.11.2016 pohjavesiputki soranottoaikan luoteisreunalle (N7202182.426 E29477388.337), jotta soranoton vaikutuksia pohjavedenpinnan tasoon voidaan seurata. Paikka suunniteltiin siten, ettei se ole ajoväylän varrella, mutta sijaitsee kuitenkin lähellä nykyistä maa-aineksenottoaluetta. Pohjavesiputken sijainti kartalla on esitetty kuvassa 23. Maaputket ajettiin soraisen pintaosan läpi 300 cm syvyydellä olevaan kivikerrokseen, ja ne puhdistettiin porakangella 314 cm syvyyteen saakka. Välittömästi kangen nostamisen jälkeen maahan laskettiin muovinen pohjavesiputki (kuva 24a), jonka siiviläosuus on 100 cm, ja umpinainen osuus 200 cm pituinen. Maan pinnalle asennettiin 100 cm:n pituinen teräksinen suojaputki (kuva 24b).



Kuva 24a. Maahan painetun pohjavesiputken pää. Kuvan vasemmassa yläkulmassa on samanlaista viemäriputkea, jota on käytetty pohjavesiputken umpinaiseen osaan. **24b.** Metrin mittainen teräsputki, joka suojaa pohjavesiputkea, ja jonka kautta pohjavedenpinta mitataan.

5.4.3. Lauttalammenharju

Pohjavesialueella toteutettiin kaksi kairausta maa-aineksenottoaikoilla, jotka sijaitsevat länsi-itäsuuntaisen harjun vastakkaisissa päissä (kuva 25). Lännenpuoleisesta kairapisteestä käytetään merkintää L1 ja idänpuoleisesta L2. Kairauksissa ilmenneet maa-ainekkerrokset on esitetty syvyyden mukaan liitteen 2 taulukossa 3.



Kuva 25. Kairauspisteet Lauttalammenharjun pohjavesialueella (Maanmittauslaitos 2017 f).

Kairareikä L1 (N7199610.914 E29517709.295) tehtiin 18.11.2016 hiekkakuopalla, jolla harjun poikkileikkaus on edustavasti esillä. Piste ei ole maatulkuviivalla, joka kulkee kairakalustolla hankalasti tavoitettavaa, jyrkkää selännettä pitkin. Linjan 1 alkupiste sijaitsee noin 150 m kairauspisteen itäpuolella. Hiekkakuopalta on otettu maa-ainesta 5 – 6 m kairautason yläpuolelta, ja kairautason yläpuolella ja sen tuntumassa hiekka oli karkeaa. Kairausprofiilissa hiekan ja soran kerrokset vuorottelevat noin 50 – 100 cm:n paksuisina syvyydellä 0 – 530 cm. Näyte otettiin syvyydeltä 430 – 570 cm. Näytteenottimeen tarttui hiekka- ja sorakerrosten aineksen alapuolella olevia kiviä, ja syvemmällä olevaa tiivistä hienoainesdiamiktonia, joka tukki maaputkia. Näytteenottimen päähän tarttui lohjenneita palasia kallioperästä, joten teimme näytteenoton jälkeen kalliovarmistuksen 800 cm syvyydelle saakka.

Harjun itäreunalla sijaitsevalla maa-aineksenottoaikaalla 21.11.2016 tehdyn kairauksen L2 (N7199934.531 E29518571.788) kairautason ja harjun laen välistä on otettu noin 5 m maa-ainesta. Kairausprofiilissa 100 – 180 cm paksuiset hiekan ja soran kerrokset vuorottelevat 400 cm syvyydellä olevaan kiveen saakka. Näytteenotinta ryhdyttiin ajamaan näiden kerrosten alapuolelle, mutta jouduimme keskeyttämään kairauksen näytteenottimen jäädessä kiinni maaperään syvyydellä 423 cm. Vaihdoin näytteenottimeen uuden kärjen, ja aloitimme toisen näytteenoton syvyydeltä 450 cm.

470 cm syvyydellä näytteenotin osui johonkin kovaan, ja kairaus jouduttiin päättämään syvyyteen 490 cm. Syvyydellä 450 – 470 cm oli tiivistä ja savista diamiktonia. Koska näytteen alin 20 cm koostui kivijauheesta, ajoimme maahan porakangen kalliovarmistusta varten. Kanki kuitenkin katkesi terän yläpuolelta, joten kairausta ei voitu jatkaa syvemmälle. Kairauksen yhteydessä ei purkautunut pohjavettä.

5.4.4. Hanhisuonharju

Kairaus H1 suoritettiin 23.11.2016 harjun laelta, harjulaajentuman ja pohjavesialuetta sen itäosassa leikkaavan tien välisellä metsäalueella. Kuvassa 26 on esitetty kairauspisteiden sijainti pohjavesialueella.



Kuva 26. Kairauspisteet Hanhisuonharjun pohjavesialueella. (Maanmittauslaitos 2017 f).

Pinnassa oli podsolimaannos ja hienoa hiekkaa. Syvyydellä 180 – 640 cm oli kaksi sorakerrosta, joiden välissä oli 70 cm hiekkakerros. Sorakerrosten alapuolella oli kivikerros ja hiekkaista soraa 855 cm syvyyteen saakka. Näyte otettiin syvyydeltä 835 – 880 cm. Näyteputkessa oli hiekkaisen soran lisäksi kallioperästä lohjenneita kappaleita syvyydeltä 855 – 880 cm. Teimme kalliovarmistuksen 1050 cm syvyyteen saakka. Kairauksissa ilmenneet maa-aineskerrokset on esitetty syvyyden mukaan liitteen 2 taulukossa 4.

Pohjavedenpinta oli kairauksen jälkeen mitattuna syvyydellä 633 cm. Tiukan aikataulun vuoksi emme ehtineet seuraavana päivänä palaaman kairauspisteelle varmistusmittauksia varten.

5.5. Antoisuuspumppaukset

5.5.1. Sikahaaro

Sikahaarolla tehtiin kaksi antoisuuspumppausta 24.11.2016 pisteen S1 läheisyyteen kairatusta reiästä. Kairareikä puhdistettiin haluttua pumppaustasoa syvemmältä ennen siiviläputken laskemista, sillä reikä täyttyi nopeasti seinämistä romahtelevalla maa-aineksella. Maaputket nostettiin välillä pois reiästä, ja siiviläputki painettiin maaputkien avulla niin syväälle maaperään kuin mahdollista.

Ensimmäistä kerrospumppausta varten kairareistä tehtiin noin 310 cm syvä, ja metrin pituisen siiviläputken kärki saatiin painettua 295 cm syvyyteen. Maa-aines pumppaussyvyydellä oli kivistä karkeaa soraa. Asensimme maaputkiin pumppaussuuttimen, syöttöletkun, pumpun, paloletkut ja saavit perätysten menetelmä-osiossa kuvaillulla tavalla. Antoisuuden laskemiseen käytettiin tilavuudeltaan 65 dm³ saavia, jonka täyttymisaika kelloitettiin. Saavin täyttymiseen meni aikaa 5 minuuttia, joten pumppauksen perusteella tuotto on 13 m³/min. Vesi oli sameaa ja maistui raudalle. Selkeytymistä ei tapahtunut tunnin aikana. Vesinäytteet koodilla SH1a otettiin pumppauksen jatkuttua 45 minuuttia. Veden lämpötila näytteenottohetkellä oli 6,2 °C.

Toinen kerrospumppaus tehtiin samasta kairareiästä, ja siiviläputken kärki painettiin 510 cm:n syvyydelle hiekkakerrokseen. Antoisuuden laskemiseen käytettiin vuorotellen 65 dm³ ja 80 dm³ saavia, siten että astia vaihdettiin toisen täytyttyä. 65 dm³ saavi täyttyi (kuva 27) 30 sekunnissa, eli laskennallinen tuotto pumppauksessa on 130 m³/min. Vesi ei kuitenkaan kirkastunut tunnissa, ja siinä maistui rauta. Vedestä aistittiin myös rikkivedyn (H₂S) haju. Vesinäytteet SH1b otettiin pumppauksen jatkuttua 45 minuuttia. Näytteenoton yhteydessä mitattu veden lämpötila oli 5,9 °C. Sikahaarolta otettujen vesinäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 2.



Kuva 27. Antoisuuspumppaus syvyydeltä 410 – 510 cm Sikahaarolla. Tilavuuksiltaan 65 dm³ (kuvassa) ja 80 dm³ saavien täyttymiseen kuluva aika kelloitettiin, jotta antoisuus saatiin laskettua.

Taulukko 2. Sikahaaron vesinäytteiden tulokset

Näyte	SH1a	SH1b	Yksikkö
pH	6,3	6,3	
Sähkönjohtavuus (25 °C)	39	49	µS/cm
Happipitoisuus (O ₂)	6,6	2,6	mg/l
Mangaani (Mn)	610	74	µg/l
Rauta (Fe)	810	990	µg/l

5.5.2. Lauttalammenharju

Antoisuuspumppaukset Lauttalammenharjulla toteutettiin 22.11.2016. Kairareikä pumppauksia varten tehtiin pisteen L1 välittömään läheisyyteen. Ensimmäistä pumppausta varten maaputket ajettiin 120 cm syvyyteen, ja kairareikä puhdistettiin porakankien avulla 200 cm syvyyteen saakka. Ensimmäisellä yrittämällä kairareikä umpeutui, eikä siiviläputki painautunut riittävän syvälle. Kun reikä oli avattu uudestaan, siiviläputken kärki saatiin painettua 190 cm syvyydelle. Siiviläputki oli ylimmän 50 cm osalta sorakerroksessa, ja syvyydellä 140 – 190 cm oli hiekkaa. Antoisuuden mittaamiseen käytettiin 65 dm³ saavia, ja sen täyttymiseen meni aikaa 4,5 minuuttia. Tässä pumppauksessa tuotto on siten 14,44 dm³/min. Vesi oli hienoainespitoista, sameaa ja siinä maistui rauta. Vettä juoksetettiin tunnin ajan, mutta kirkastumista ei tapahtunut.

Toinen antoisuuspumppaus tehtiin syvyydeltä 200 – 300 cm, sillä alapuolisten kerrosten kivisyys olisi kohottanut laitteiston rikkoutumisriskiä. Maa-aines siiviläputken ympärillä oli pääosin hiekkaa, mutta putken kärki oli kivikerroksessa. Tällä syvyydellä vedenpaine oli niin huono, ettei kelloitus onnistunut. Käytössä oli sama välineistö kuin ensimmäisessä pumppauksessa, mutta tällä kertaa maaputkien pumppaussuutin oli noin 200 cm korkeudella maanpinnasta. Tämä johtui siitä, että siiviläputken maakerrokseen ajamiseen käytetyt maaputket olivat 300 cm pitkiä, eikä ylintä maaputkea voitu painaa maahan 1 m syvemmälle ennen kairaussyvyyden saavuttamista.

6. Tulosten tulkinta

6.1. Kirkkosärkät

6.1.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet

Maatutkaluotausprofiiliin ja maastokäynnillä tehtyjen havaintojen perusteella yksi kairauspisteistä sijoitettiin linjalle 1. Tarkoituksena oli selvittää kallionpinnan tason muutoksia varsinaisten kalliopaljastumien eteläpuolella. Kaksi muuta maaputkikairausta päätettiin toteuttaa pohjavesialueen itäosan maa-aineksenottoaikalta, luotausprofiileissa yhtenäiseksi tulkitun pohjavesiyksikön alueelta.

Linjalla 1 toteutetussa kairauksessa ei purkautunut pohjavettä, ja tasossa 226,6 m mpy oleva pinta tulkittiin kallionpinnaksi. Kun rajapintaa seurattiin tästä pisteestä länteen, todettiin sen kulkevan pohjavedenpinnan yläpuolella aina luotauslinjan pisteiden 49 ja 56 välisille kahdelle kalliopaljastumalle saakka. Myös pisteessä 65 kallionpinta tulkittiin aivan pohjavedenpinnan tason tuntumaan. Kalliopaljastumien molemmin puolin pohjavedenpinta erottuu linjan 1 luotausprofiilissa voimakkaana ja melko yhtenäisinä, vettä johtavan maa-aineksen horisontaalisia rakenteita myötäilevinä viivoina. Mikäli pohjavedenpinta on tulkittu oikein, pohjavesikerros on paksuimmillaan 3,5 m linjan länsiosassa, pisteissä 66 ja 67, missä muodostuma päättyy suoalueen reunaan. Tällä pohjavesialueen osalla ei ole käytännön merkitystä vedenhankinnan kannalta, sillä se ei ole hydraulisesti yhteydessä kaakkoisosan pohjavesiesiintymään, ja on laajuudeltaan pienialainen.

Kalliopaljastumien läheisyydessä sijaitsevat lammet ovat todennäköisesti pohjavesivaikutteisia, sillä maatutkaluotauslinjan 1 profiilissa pohjavedenpinnan on tulkittu yltävän lähes maanpinnan tasolle pisteessä 56 olevien lampien kohdalla. Kun maastohavaintoja tulkittiin kairausten perusteella tarkennettuja maatutkaluotausprofiileja apuna käyttäen, nähtiin todennäköisimpänä, että lammet ovat kalliokynnysten saartamaa orsivettä. Vettä johtavaa, lajittunutta materiaalia on kerrostunut kallioperässä oleviin syvänteisiin, jolloin pohjavettä on voinut suotautua pienialaiseksi esiintymäksi. Yksittäisiä kaivonpaikkoja voi olla, mutta koska kalliokynnykset ovat eristäneet lajittuneen aineksen muusta muodostumasta, kaivojen tyrehtymisriski on suuri. Antoisuus ei todennäköisesti olisi riittävä jatkuvaan pohjaveden hyödynnykseen, ja sateettomina kausina orsivesiesiintymä saattaisi tyrehtyä kokonaan.

Luotausprofiilien ja kairausten K2 ja K3 tulosten perusteella pohjavedenpinta on muodostuman kaakkoisosassa yhdenmukaisesti tasolla n. 225 m mpy, mikä viittaa siihen, että pohjavesiesiintymä on yhtenäinen luotauslinjan 2 pisteen 78 itäpuolella. Pohjavesikerros on paksuimmillaan noin 8 m linjan 2 lopussa, jossa se päättyy hiekkatiehen. Noin 150 m päässä tästä pisteestä etelään pohjaveden muodostumisalue rajautuu ojitettuun suohon, jolle myös Könöspuro laskee. Maaputkikairauksen K2 toteutettiin maa-aineksenotto paikalla, noin 40 m linjan 2 pisteen 83 itäpuolella. Kairauspiste K3 suunniteltiin noin 50 m päähän koilliseen kairauksesta K2.

Maa-aines on suurilta osin huonosti lajittunutta kivistä soraa myös muodostuman itäosassa. Maaperänäytteiden perusteella sorakerrosten kivet ovat kulmikkaita, ja ne muistuttavat jokikuljetuksessa hioutuneen materiaalin sijasta moreenin seassa olevia kiviä. Vaikka hiekkakerrosten aines oli kohtalaisesti lajittunutta, hiekan osuus suhteessa kivisen soran määrään on pieni.

Kun otetaan huomioon soranoton laajuus alueella, pohjavesikerroksen yläpuolella oli yllättävän paksu suojakerros, ja pohjavedenpinta oli pisteellä K3 syvyydellä 208 cm (225,1 m mpy). Kairauksen aiheuttaman häiriön vuoksi todellinen taso voi olla hieman korkeammalla. Pohjavedellä kyllästyneen maa-ainekerroksen paksuus on siten vähintään 770 cm, mutta koska sora kairauspisteellä on huonosti lajittunutta, sen hydrauliset ominaisuudet voivat olla lähellä karkean moreenin vedenjohtavuutta, joka on keskimäärin 1 - 10 % kohtalaisesti lajittuneen hiekan ja soran vedenjohtavuudesta (Todd 1980).

Piste K3 sijaitsee vain noin 20 m etelään Poski 2011 – 2012 -projektin (Rönty ja Eskelinen 2012) yhteydessä tehdystä kairauksesta, joka päättyi 730 cm syvyydelle lohkareseen tai kallioon. Kallionpinta todennäköisesti kohoaa pohjoiseen, sillä kairauksessa K3 saavutettiin 250 cm syvempi taso. Lisäksi maaston yleinen topografia viettää kaakkoon.

6.1.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosysteemeihin

Paikkatieto- ja maastotarkastelussa ilmeni, että pohjavesialueen maasto on voimakkaasti muuttunut soranoton ja metsätalouden vaikutuksesta. Kirkkosärkät on ollut yksi Suomussalmen merkittävimmistä muodostumista soranoton kannalta, joten maa-aines on suurilta osin hyödynnetty (Rönty ja Eskelinen 2012).

Kaakossa, Könöspuron laskusuunnassa sijaitsevat suot on ojitettu, joten edellytykset luontotyyppien säilymiselle ovat jo entuudestaan heikentyneet (Saastamoinen 1989). Alueelta ei löytynyt suojeltavia, pohjavesivaikutteisia luontotyyppejä, joten sitä ei siirretä E-luokkaan.

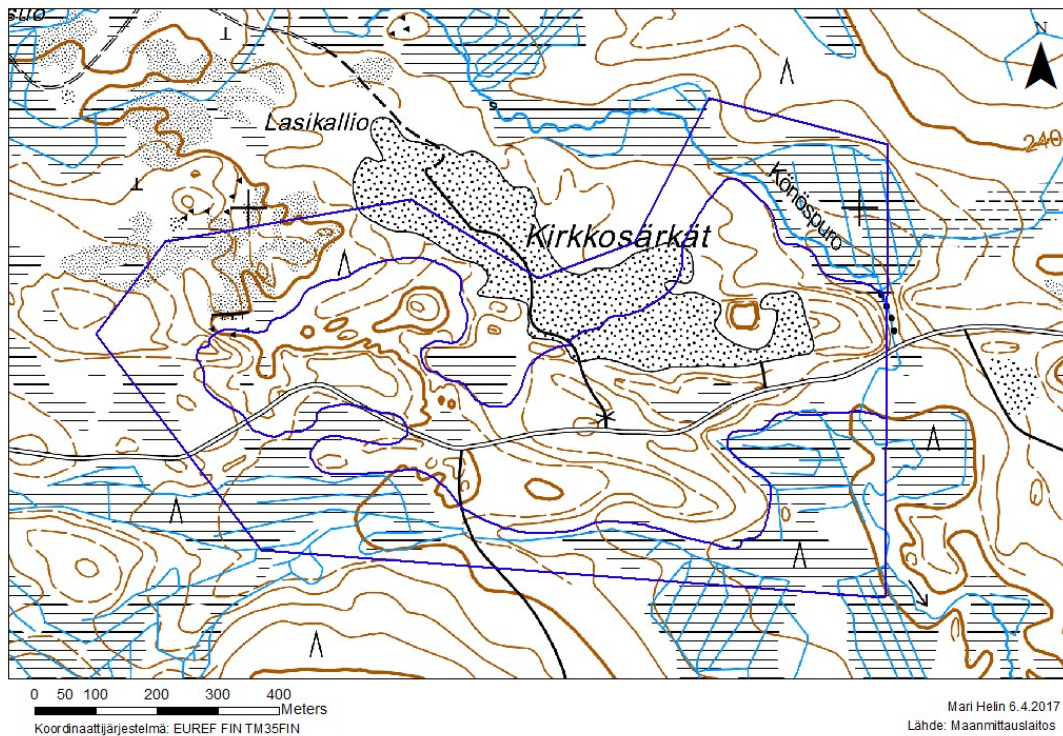
6.1.3. Uusi rajaus ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi

Aiempi maa-aineksen kokonaismäärään perustuva arvio pohjaveden muodostumisesta oli 350 m³ vuorokaudessa. Pinta-alan perusteella tehty arvio on erityisen epäluotettava alueilla, joilla kallionpinta kulkee hyvin lähellä maanpintaa, sillä todellinen vettä johtavien kerrosten määrä tulee yliarvioiduksi käytettävillä kertoimilla. Maatutkaluotauksista tehtyjen tulkintojen perusteella Kirkkosärkillä kallionpinta on laajoilla alueilla niin lähellä maanpintaa, ettei vettä johtavan maa-aineksen kokonaistilavuus ole riittävä, jotta tämä muodostumisarvio toteutuisi. Pohjavesiesiintymä on yhtenäinen vain kaakkoisosastaan, joten muodostuva pohjavesi purkautuu antikliinisesti Könöspuroon ja virtaa pois alueelta.

Rajausta muutetaan siten, että pohjavesialueen kalliainen länsiosa jää muodostumisalueen rajojen ulkopuolelle, sillä 850 m mittaisella maatutkaluotauslinjalla 1 kallionpinta kulki pohjavedenpinnan yläpuolella ainakin 350 m matkan ja lähes puolet linjan 2 pituudesta. Lasikalliolta tuleva valunta jää maatutkaluotausprofiilien perusteella pääosin lännen orsivesiesiintymiin, eikä merkittävästi lisää pohjaveden muodostumista uudella muodostumisalueella. Tämän vuoksi muodostumisalueen raja ei kulje vaikutusalueen rajan kanssa samalla linjalla.

Maastokartan korkeuskäyrien perusteella arvioitiin kallionpinnan kulku niissä osissa muodostumaa, joita maatutkaluotauslinjat eivät kata. Koska tämän selvityksen yhteydessä Kirkkosärkkien eteläreuna tutkittiin vain maastotarkastelun yhteydessä, siitä

ei ole saatu riittävästi Vesienhoitoasetuksen luvun 2a (10.11.2016/929) edellyttämää uutta hydrogeologista tietoa, jotta rajausta olisi perustellusti voitu muuttaa. Eteläosa jätettiin muodostumisalueen rajojen sisälle, vaikka sielläkin saattaa olla pohjaveden virtauksen estäviä kalliokynnyksiä. Uusi muodostumisalueen pinta-ala on n. 329 800 m², ja sen rajat on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Kirkkosärkkien pohjavesiesiintymälle määritetyt uudet rajat. (Maanmittauslaitos 2017 g.)

Pohjaveden yläpuolinen maa-aines oli kivistä ja karkeaa soraa kairauspisteissä K2 ja K3. Soran vedenpidättävyys on 1 – 20 % (Todd 1980; Heath 1983). Materiaalin lajittuneisuus on vaihtelevaa, paikoitellen jopa moreenimaista, joten arvioin vedenpidättävyyden olevan 15 – 20 %. Siten 80 – 85 % muodostumisalueelle päätyneestä vedestä suotautuisi pohjavedenpinnan yläpuolisten maaperäkerrosten läpi. Kairausten ja maatulkuutausten perusteella pohjavedenpinnan keskimääräiseksi syvyydeksi on laskuja varten arvioitu 3,9 m. Imeytymiskerroin laskettiin haihdunta huomioiden sekä 15 %:n että 20 %:n vedenpidättävyydelle ja arvot ovat näin ollen:

$$0,49 * 0,8^{3,9} = 0,205 \text{ ja } 0,49 * 0,85^{3,9} = 0,26.$$

Uusi arvio pohjaveden muodostumismäärästä on 122 – 154 m³/vrk. Luotauslinjat kattavat vain osan selvitysalueesta, mutta paikkatietotarkastelun perusteella on todennäköistä, että myös uuden muodostumisalueen länsiosissa on kalliokynnyksiä.

6.2. Sikahaaro

6.2.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet

Sikahaaron muodostuma ja Hiidenjoki myötäilevät niiden pohjoispuolella sijaitsevan Pienen Hiidenvaaran moreenikumpareen reunaan. Hiidenjoen varrella on havaittu useita kasaantumismuotoja, kuten drumliineja ja harjuja (Virkkala 1954). Pieni Hiidenvaara on todennäköisesti kerrostunut ennen Sikahaaraa, jonka glasifluvialista ainesta on kerrostunut moreeniselänteen aineksen päälle. Kairautulokset Sikahaaron pohjoisosassa sijaitsevalla pisteellä S3 tukevat tätä tulkintaa. Pohjalla oli hienoainesdiamiktonia, jota ei muissa kairauksissa havaittu.

POVET-tietokannassa todetaan pohjavesialueen olevan pohjoisosistaan synkliininen, vaikka se pääasiassa purkaakin vettä ympäristöönsä. Muodostumisalueen raja kulkee maa-aineksenottoalueen luoteispuolella Hiidenjoen rannalla sijaitsevalla suoalueella, joten suovesien imeytyminen on edellisessä rajauksessa katsottu todennäköiseksi. Kuten maaston topografiakin, myös pohjavedenpinta kohoaa luoteessa, missä suovettä todennäköisesti imeytyy muodostumaan. Luotauslinjan 2 itäreunalla pohjavedenpinta on määritetty tasolle n. 228 m mpy, ja luoteessa 232 m mpy. Vaikka kairauspisteen S1 sijainti on lähellä pohjaveden muodostumisalueen rajaa, maa-ainekerroksia on yli 10 m paksuudelta tasossa 121,1 m mpy olevaan kallionpintaan saakka, eikä selkeää pohjavettä salpaavaa maa-ainekerrosta ilmennyt kairauksissa. Maastohavaintojen perusteella materiaali on samankaltaista kuin kairauspisteessä soranottoalueen reunaan saakka, joten muodostumisalue voitaisiin rajata eteläpuoleiseen suohon, jolle pohjavettä todennäköisesti purkautuu.

Maastotarkastelulla ja kairauksissa havaittiin, että maa-aineksen lajittuneisuus vaihtelee suuresti sekä kerrosten että alueen eri osien välillä. Erityisesti kairauspisteellä S1 sora on kivistä ja huonosti lajittunutta, mikä on tyypillistä sellaisissa sulavesisysteemeissä, joissa veden määrä on ollut kerrostumisen alkuvaiheessa liian vähäinen lajittumisprosessin kannalta (Johansson et al 2005).

Kairauspisteen S2 maa-aineskerrokset ovat pinnassa ohuempia kuin pisteellä S1, ja lajittuneen soran ja hiekan osuus on suurempi. Maaperäkerrosten havaittiin olevan hyvin vettä johtavaa ja kivetöntä ainesta ylimmän 530 cm osalta. Hiekka on karkeaa, mikä edistää pohjaveden virtaamista. Kairausten yhteydessä maan pinnalle purkautunut pohjavesi tuoksui kuitenkin voimakkaasti raudalle, ja oli väriltään punaista. On mahdollista, että vettä imeytyy muodostumaan jonkin verran myös suoalueelta. Antoisuuspumppaus päätettiin sijoittaa pisteen S1 lähetyville pisteen S2 sijasta, sillä kairausten perusteella veden rautapitoisuus on pisteellä S2 ilmeisen korkea, vaikka lajittunutta maa-ainesta onkin enemmän kuin pisteellä S1.

Lajittuneisuus pisteellä S2 on parempi kuin pisteellä S1, ja sen yleinen rakenne muistuttaa enemmän tyypillistä, subglasiaaliseen jäätikköjokitunneliin kerrostuneen harjun rakennetta, jossa on hyvin lajittuneesta sorasta koostuva ydin (Johansson et al. 2005). Tämä voi selittyä sillä, että toinen kairauspiste sijaitsee pohjavesialueen keskiosissa, jossa myös pohjavettä muodostuu määrällisesti eniten. Hyvin lajittuneiden kerrosten välissä on myös huonosti lajittunut, kivinen kerros, jonka kerrostuminen on mahdollisesti seurausta kylmäpohjaisen jäätikön reunan oskilloimisesta, ja siitä johtuvasta virtaus- ja kerrostumisolosuhteiden muuttumisesta alueella.

Pohjavedenpinta oli pisteessä S3 vain 50 cm syvyydellä, vaikka alueen tässä osassa ei ole ollut maa-aineksenottoa. Pohjavedenpinta nousee pohjoisen rinnettä kohti myös maatulkualueprofiileissa havaitun heijastepinnan perusteella, mikä viittaa Pieneltä Hiidenvaaralta tulevaan valumaan. Pohjavesi virtaa siten ainakin muodostuman tässä osassa etelään, ja myös linjalla 3, jonka pisteiden 35 – 37 muodostama osuus on lähes kohtisuorassa muuta linjaa vastaan, pohjavedenpinta kohoaa noin metrillä pisteestä 35 pohjoisessa sijaitsevaan pisteeseen 37. Luotausprofiilien perusteella vaikuttaa siltä, että pohjavettä virtaa arviolta luotauslinjan 2 pisteen 12 länsipuolella Pieneltä Hiidenvaaralta Sikahaaron muodostumaan. Pisteiden itäpuolella maa-aines on kohtalaisesti tai hyvin vettä johtavaa, mutta valuntaa tapahtuu moreeniselänteen ja Sikahaaron väliselle suolle pohjavesialueen sijasta. Luoteessa korkea pohjavedenpinta tuskin suoraan johtuu Pieneltä Hiidenvaaralta tulevasta valunnasta, sillä sen ja Sikahaaron välissä on kaakkoon virtaava Hiidenjoki, johon pohjoispuolelta lähtöisin oleva vesi kerääntyy. Todennäköisempää on, että selänteen reunoilta imeytyy joki- ja suovettä muodostumaan erityisesti joen vedenpinnan ollessa korkealla. Myös lajittuneen maa-aineksen alapuolisen tason, kallionpinnan tai tiiviin moreenin kohoaminen luoteeseen vaikuttaa pohjavedenpinnan tasoon.

S3 on kairauspisteistä ainoa, joka sijaitsee Hiidenjoen pohjoispuolella, Pienen Hiidenvaaran moreeniselänteen juurella. Sikahaaro koostuukin kahdesta erillisestä selänteestä, joiden välisessä notkelmassa Hiidenjoki virtaa. Luotauslinja 2 ylittää Hiidenjoen sen pisteessä 14, ja luotausprofiilin perusteella Sikahaaron maa-aineskerrokset jatkuvat joenpohjan alla yhtenäisinä sen molemmin puolin, mutta pohjavesialueen muoto kuitenkin taipuu moreeniselänteen myötäisesti. Koska lämminpohjaisella jäätiköllä on taipumuksena erodoida aiemman glasiaalimuodostumat virratessaan (Aario 1990), tutkimusalue on todennäköisesti sijainnut mannerjäätikön reunaosissa. Tällöin oskilloivan, kylmähajaisen jäätikön reuna on deglasiation aikaisella viileämmällä kaudella voinut edetä Pientä Hiidenvaaraa myötäillen, ja ilmaston jälleen lämmettyä Sikahaaron muodostuma on syntynyt pieneen jäätikköjokitunneliin moreenimuodostuman juurelle. Sulavesivirroille onkin tunnusomaista virrata maaston alavimmalle kohdalle muuta topografiaa myötäillen (Virkkala 1954).

Kairauspisteellä S3 maa-aines on lajittuneempaa ja hienorakeisempaa kuin muualla muodostumassa, mikä voi johtua veden virtausnopeuden hidastumisesta jäätikköjoen mutkassa. Mutkan itäpuolelle on siten kerrostunut hienompaa materiaalia karkeamman aineksen sedimentoiduttua Sikahaaron länsiosassa.

Pohjavedenpinta on erityisesti maa-aineksenottoalueella ja muodostuman pohjoisosissa hyvin lähellä maanpintaa, mutta antoisuuspumppaustulosten perusteella vedenjohtavuus pinnan kerroksissa ei ole kovin hyvä. Pumppauksessa SH1b syvyydellä 410 – 510 cm tuotto oli kymmenkertainen verrattuna pumppaukseen SH1a syvyydellä 195 – 295 cm. Pumppauksessa SH1a siiviläputki oli huomattavasti lajittuneen aineksen ympäröimä, kun se pumppauksessa SH1b oli hiekkakerroksessa.

Syvemältä toteutetun pumppauksen perusteella pohjaveden määrällinen tila ja pumppauskerroksen vedenjohtavuus on hyvä. Mikäli oletetaan, että tuotto olisi vastaava myös pitkäaikaisessa pumppauksessa, tunnin pumppauksen perusteella laskettu antoisuus olisi 187 m³/vrk. Vastaava laskennallinen arvo pumppaukselle SH1a on 18,7 m³/vrk. Pohjaveden muodostumismäärän vähimmäissuositus 2-luokkaan määritettäville pohjavesialueille on 100 m³/vrk (Britschgi ja Rintala 2016). Antoisuuspumppauksen tulokset eivät suoraan vastaa pohjaveden muodostumismäärää, vaan mittaa pumppausvyvydellä olevan maaperän vedenjohtavuutta. Muodostumiseen vaikuttavat maaperän vedenjohtavuuden lisäksi muun muassa sadanta, haihdunta ja pohjavettä eristävien kerrosten esiintyminen vettä johtavien kerrosten välissä (Kinnunen 2005). Ominaisantoisuuspumppausten tuloksia voidaan kuitenkin viitteellisesti rinnastaa

alueella muodostuvan pohjaveden määrään pohjavesialueen kriteerien täyttymistä arvioitaessa.

Vesinäytteiden tuloksissa kävi ilmi, että veden laatu ei täytä Sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asetuksen 1352/2015 liitteessä 1 määrittämiä laatuvaatimuksia. Rautaa on molemmilla syvyyksillä yli nelinkertainen määrä suhteessa talousvedelle määritettyyn enimmäispitoisuuteen, joka on 200 µg/l. Myös mangaaniarvot ovat korkeat erityisesti syvyydeltä 195 – 295 cm otetussa vesinäytteessä. Näytteen SH1a mangaanipitoisuus on peräti 610 µg/l, kun suositusten mukainen enimmäisraja on 50 µg/l. Syvemmältä otetussa näytteessä mangaania on raja-arvoja suuremmissa pitoisuuksissa, mutta sen määrä on huomattavasti laskenut, ja on näytteessä SH1b 74 µg/l. Molempien näytteiden pH-arvo oli 6,3, mikä on hieman alhaisempi kuin vähimmäisrajaksi määritetty 6,5. Tämä on Suomessa yleistä, ja Lahermon et al. (2002) tekemässä kaivoveden laatu tutkimuksessa kävi ilmi, että vain 43 % tutkimuksessa mukana olleista rengaskaivoista täytti laatuvaatimukset pH-arvon osalta. Molempien näytteiden sähkönjohtavuus oli enimmäisarvoja vähäisempää.

Hapen kylläisyyspitoisuuteen, eli sen suurimpaan mahdolliseen pitoisuuteen vedessä vaikuttaa ilmanpaine ja veden lämpötila. Ilmanpaineen määrittäminen perustuu tässä selvityksessä näyteenkorkeuteen merenpinnasta, sillä käytössämme ei ollut ilmanpainemittaria. Tämän epätarkkuustekijän vaikutus tulosten merkittävyyteen on kuitenkin pieni, koska niitä käsitellään suuntaa-antavina.

Molemmissa Sikahaarolta otetuissa vesinäytteissä happipitoisuus oli matala. Näytteessä SH1a se oli 6,6 mg/l. Näyteenottohetkellä veden lämpötila oli 6,2 °C joten hapen kyllästymispitoisuus on noin 12,04 mg/l. Hapen kyllästysaste näytteessä SH1a on siten 54,8 %. Näytteen SH1b happipitoisuudeksi määritettiin 2,6 mg/l. Hapen kyllästymispitoisuus on noin 12,14 mg/l vedelle, jonka lämpötila on 5,9 °C, mikä tarkoittaa, että näytteessä SH1b kyllästysaste on vain 21,4 %. Vastaavat arvot ovat tyypillisiä kalliopohjavesiesiintymille, jotka ovat tiiviin moreeni- tai savikerroksen peittämiä. Pääasiallinen happea kuluttava tekijä maaperämuodostumien pohjavesissä on humuksen runsas määrä (Lahermo et al. 2002). Tämä viittaa Sikahaaron tapauksessa siihen, että pohjavesimuodostumaan on imeytynyt lähialueiden suovesiä, jotka sisältävät runsaasti orgaanista ainesta. Vaikka kairauksissa ei havaittu pumppaustason yläpuolisia, eristäviä hienoaineskerroksia, hiekkakerroksen yläpuolella oli hyvin kivistä, ja huonosti lajittunutta ainesta.

Redox-aktiiviset alkuaineet, kuten rauta ja mangaani sekä muun muassa rikkiyhdisteet ovat herkkiä veden happipitoisuuden muutoksille. Liukoisen hapen vähäinen määrä lisää raudan liukoisuutta, sillä kiinteässä olomuodossa esiintyvä ferrirauta (Fe^{3+}) pelkistyy liukoiseksi ferrorauta-ioneiksi (Fe^{2+}) (Lahermo et al. 2002). Myös mangaanin liukoisen ionin (Mn^{2+}) suhteellinen osuus kasvaa pelkistävässä oloissa (Chapman ja Kimstach 1996). Mangaania kuitenkin esiintyy useammalla hapetusasteella kuin rautaa, minkä vuoksi sen käyttäytyminen on monimutkaisempaa. Olosuhteiden muuttuessa vähähappisiksi, mangaani on ensimmäisiä pelkistyviä alkuaineita (Bums ja Ross, 1971). Tämä voi osin selittää sen korkeaa pitoisuutta vesinäytteessä SH1a, vaikka hapen kyllästysaste ylitti 50 %.

Suomessa pohjaveteen liuenneet rauta- ja mangaani-ionit ovat yleensä peräisin maaperän sekundäärisistä, amorfisista oksidisaostumista, jotka ovat herkkäliukoisempia kuin mineraalipartikkeleihin sitoutuneet metallit (Lahermo et al. 2002). Näytteen SH1b pumppausvyvydellä maa-aines oli paremmin lajittunutta kuin syvyydellä 195 – 295 cm, joten hienoaineksen joukossa esiintyvän amorfisen mangaanin määrä on siinä todennäköisesti pienempi, vaikka hapen kyllästysaste laskeekin merkittävästi verrattuna näytteeseen SH1a.

Pohjavesi ei kirkastunut tunnin juoksutuksen jälkeen, mikä viittaa siihen, että osa raudasta on ollut saostuneena maaperän hienoainekseen. Pumppausten yhteydessä myös liuenneet rauta-ionit reagoivat maan pinnalla hapen kanssa, ja rautasaostumia ilmestyi maahan valuneeseen veteen redox-olosuhteiden muututtua.

Sulfidimineraalit, joista yleisin on rikkikiisu (FeS_2), ovat pääasiallinen rikin lähde maaperässä. Sulfidi- ja metallipitoisuudet ovat yleisesti ottaen korkeammat hienon raekoon aineksessa, sillä useat malmimineraalit kestävät kulutusta huonosti, tai ne ovat sekundäärisessä, amorfisessa muodossa (Peuraniemi 1982). Pumppausten yhteydessä aistittu rikkivedyn tuoksu viittaa siihen, että pelkistävässä oloissa elävät mikrobit ovat hyödyntäneet ferrorautaan sitoutunutta happea suolta kulkeutuneen orgaanisten humuksen hajottamiseen. Tämä on johtanut siihen, että osa rikistä on voinut saostua maaperään rautasulfideina, mutta reaktiotuotteina syntyneet kaasut, hiilidioksidi ja rikkivety (Lahermo 2002) kohosivat pumppauksen yhteydessä maanpinnan tasolle.

Kun käsitys Sikahaaron rakenteesta tarkentui luotausprofiilien ja kairausten sitomisen myötä, todettiin, että vaikka antoisuuspumppauspisteellä pohjavedellä kyllästyneen

maaperän paksuus ylitti 9,5 m, se koostuu huonommin lajittuneista kerroksista kuin muodostuman keskiosassa sijaitsevalla kairauspisteellä S2. Sen lähetyville sijoitettu antoisuuspumppaus olisi mahdollisesti kuvannut pisteeltä S1 saatuja tuloksia paremmin Sikahaaron ydinosan pohjavesiolosuhteita.

6.2.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosysteemeihin

Alueen luonnontilaa on sekä paikkatieto- että maastotarkastelun perusteella merkittävästi muutettu. Maa-ainesta on paikoitellen otettu pohjavedenpinnan tasoon saakka, ja alueella on harjoitettu intensiivistä metsätaloutta. Ortoilmakuvasta havaittiin, että soranottoalueen reunalta luoteeseen jatkuva selänne on avohakattu lähes pohjaveden muodostumisalueen rajalle saakka.

Karttaan merkittyä lähdeä ympäröivä suo on kauttaaltaan ojitettu, mikä on voinut johtaa lähde-ekosysteemin tuhoutumiseen. Emme löytäneet kartan osoittamasta paikasta mitään viitteitä pohjavesiesiintymästä. Ojien väleissä sijaitsevissa lammikoissa oli humuksen ruskeaksi värjäämää suovettä, ja ne olivat täyttyneet hakkuujätteellä. Suomessa yleisin syy lähteiden tuhoutumiselle on soiden ojittaminen. Heinon et al. (2005) seurantatutkimuksessa ilmeni, että viidessätoista vuodessa Saastamoisen (1989) tutkimasta neljästäkymmenestä itä-suomalaisesta lähteestä vain 20 % oli edelleen luonnontilaisia vuonna 2005. Luonnontilan heikentymisen syy oli 60 %:ssa tapauksista ojitus.

On myös mahdollista, että maastokartan tekemiseen käytetty aineisto on ollut riittämätöntä, ja lähteeksi merkitty vesiesiintymä ei ole missään vaiheessa ollut pohjavesiriippuvainen. Vanhentunut tai yleistäen luotu aineisto on yksi syy sille, että pohjavesialueiden luokittelu pelkän paikkatietotarkastelun perusteella on epävarma menetelmä, vaikka voikin säästää sillä hetkellä käytettävissä olevia resursseja.

Sikahaaron alueella on pohjaveden suojelun kanssa ristiriidassa olevia maankäyttöpaineita, kuten voimassa oleva maa-aineslupa sekä aktiivinen metsätaloustoiminta muodostuman alueella ja sen lähiympäristössä. Maankäyttömuodot ovat muokanneet alueen niin kauas sen luonnontilaisesta asusta, että kalliisiin kunnostustoimiin ryhtyminen näin syrjäisellä pohjavesialueella on epätodennäköistä.

6.2.3. Uusi rajaus ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi

Sikahaarolla pohjaveden muodostumisalueen raja on aiemmin kulkenut noin 50 – 100 m päässä vaikutusalueen rajasta myös sen koillisosissa. Maatutkaluotausaineiston ja siihen sidottujen kairausten perusteella muodostumaan tulee valuntaa pohjoispuoliselta Pienen Hiidenvaaran moreeniselänteeltä, joten muodostumisalueen rajaa siirrettiin vaikutusalueen rajalle sille linjalle, jolta veden tulkitaan virtaavan ensisijaisesti Sikahaarolle, eikä esimerkiksi suoalueelle. Näin täyttyy Vesienhoitoasetuksen luvun 2a (10.11.2016/929) ohje, jonka mukaan muodostumisalueeseen määritetään ne pohjavesialueen osat, jotka merkittävästi lisäävät pohjaveden määrää. Maatutkaluotausaineistoa ei kuitenkaan ole muodostumisalueen pohjoisosista, joten se moreeniselänteen kohta, josta pohjavedet virtaavat Sikahaarolle, on määritettävä paikkatietotarkastelulla.

Kairauksen S1 perusteella muodostumisalueen rajaa laajennettiin myös lounaassa, sillä vettä johtavat maaperäkerrokset jatkuvat ainakin maa-aineksenottoipaikan reunalle saakka. Maanpinnalla silmämääräisesti nähtävät maa-ainekserrokset päättyvät muodostuman eteläpuoleisen suon laitaan, mutta pohjavesialueen reunoilta ei ole maatutkaluotaus- tai kairausaineistoa. Maaston yleisen topografian ja kairauksessa havaitun, suonpintaa korkeammalla olevan pohjavedenpinnan tason vuoksi on todennäköistä, että eteläosastaan pohjavesialue on antiklininen, ja purkaa pohjavettä suoalueelle. Tätä tulkintaa tukee myös suolle karttoihin merkitty lähde. Vaikka alueella olisi joskus tehty havainto pohjavesipurkaumasta, lähdeympäristö on kuitenkin jo tuhoutunut todennäköisesti metsätaloustoiminnan seurauksena. Uusi pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on 188 040 m² (kuva 29).

luokituspäätökselle. Maaperäkerrokset olivat paksumpia ja paremmin lajittuneita kairauspisteen S2 läheisyydessä, mutta maatulkuiluotausten perusteella kallionpinta kohoaa pisteen molemmin puolin siten, että tästä kohdasta toteutetun antoisuuspumppauksen tulokset olisivat saattaneet antaa kuvan todellisista suuremmasta tuotosta.

6.3. Lauttalammenharju

6.3.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet

Lauttalammenharjulla toteutettuja kairauksia ei voitu luotettavasti sitoa suoraan luotausprofiiliin, mutta niiden tarjoaman lisäinformaation avulla joitain rakenteista tulkittiin uudelleen. Koska Lauttalammenharju sijaitsee syrjäisellä alueella, eikä ole keskiosistaan kairauskalustolla saavutettavissa, toteutimme kairaukset hiekkakuopilla, jotka ovat kytköksissä hiekkatieverkostoon.

Pohjavedenpinta erottui selkeästi linjalla 1 yhtenäisenä heijasteena, joka linjan itäreunalla on tasolla 211 m mpy, ja kohoaa tasaisesti kohti linjan läntistä päätepistettä, jossa se on tasolla 214,5 m mpy. Kairauksessa määritetty pohjavedenpinnan taso oli 217,5 m mpy. Pohjavedenpinnan tasosta tehtyjen tulkintojen uskottavuutta lisää se, että ympäröivien vesistöjen vedenpinnan tasot korreloivat hyvin pohjavedenpinnaksi määritetyn heijasteen tason kanssa. Muodostuman itäpuolella sijaitsevan järven vedenpinta on peruskartan mukaan tasolla 212 m mpy, ja Lauttalammen vedenkorkeus puolestaan 217,2 m mpy.

Pisteellä L1 havaittu maaperän materiaali luo hyvät edellytykset pohjaveden muodostumiselle ja sen virtaamiselle. Muodostuma kuitenkin on melko matala, ja kallionpinta määritettiin syvyydelle 570 cm. Sen päällä on noin 40 cm paksuinen kerros hyvin tiivistä ja savista diamiktonia, joka on todennäköisesti pohjamoreenia. Pohjavedellä kyllästynyttä, vettä johtavaa aineista on moreenin päällä siten noin 500 cm verran. Noin 150 m päässä kairauspisteestä olevan luotauslinjan 1 alkupäässä ei ollut moreenikerrokseen viittaavia rakenteita, mutta tämä voi osin johtua siitä, että kerros oli kairauspisteelläkin niin ohut, että sen ja kallionpinnan aiheuttamat heijasteet eivät ole tarkasteluresoluutiolla erotettavissa toisistaan.

Pisteen L2 kairaus osoitti, että muodostuma on matala myös itäosastaan. Hiekkakuopan seinämässä havaittu ja kairauksissa ilmennyt maa-aines on toisaalta ominaisuuksiltaan

hyvin vettä johtavaa karkeaa hiekkaa ja soraa, mutta tiivis, hyvin savinen diamiktoni alkoi jo 420 cm syvyydellä kairaustason alapuolella, eikä pohjavettä purkautunut kairauksen yhteydessä. Maatutkaluotauslinja kulkee n. 11 m päässä kairauspisteestä, joten mikäli luotausprofiilissa havaittu pohjavedenpinnan taso vastaa todellisuutta, akviferin reuna on harjanteen laen ja kairauspisteen välisellä alueella.

Kalliovarmistusta ei saatu tehtyä pisteellä L2, sillä maaputkien ajo tiiviin kerroksen läpi olisi ollut riski kaluston kestävyuden kannalta. Syvyydelle 470 cm ehdittiin kuitenkin ennen kairauksen lopettamista ajaa näytteenotin, johon tarttui valkoista kivijauhetta. Tämä viittaa siihen, että kallionpinnan taso on kairauspisteessä n. 213,3 m mpy. Koska pisteellä L1 kallionpinta oli 40 cm paksuisen moreenikerroksen alapuolella, voidaan pitää melko todennäköisenä, että näytteenotin osui kairauspisteellä L2 kallionpintaan, jonka yläpuolella on 50 cm moreenikerros. Luotausprofiiliin kallionpinta tulkittiin tätä oletusta hyödyntäen kalliooperän rakoihin viittaavien heijasteviivojen yläpinnalle.

Rakenteiden perusteella vaikuttaa siltä, että luotauslinjan pisteessä 86 on lähes pohjavedenpinnan tasoon kohoava kalliokynnys, jonka yläpuolella on tiivis hienoaineskerros. Kairaus L2 sijaitsee noin 11 m pisteestä 86 pohjoiseen, ja ilmeisesti on vettä pidättävän moreenikerroksen vuoksi rajautunut pohjavesimuodostuman ulkopuolelle. Rajausta tulee tulosten valossa muuttaa siten, että muodostumisalueen raja kulkee luotauslinjan ja kairauspisteen välisellä alueella. Harjun itäreunalta etelään purkautuva lähde viittaa siihen, että luotauslinjan eteläpuolella kallionpinta voi laskea hieman, ja pohjavettä pääsee virtaamaan lähteeseen lännestä. Luotausprofiilissa hienoainesmoreeniksi tulkitun rajapinnan tulkittiin kulkevan pisteiden 79 ja 89 välissä, mutta tämän alueen länsipuolella vastaavia rakenteita ei erotettu. Moreenikerros mahdollisesti ohenee niin paljon, etteivät sen aiheuttamat rakenteet ole erotettavissa kallionpinnan rakenteista.

Linjat 4 ja 5 ovat poikkileikkauksia linjasta 1. Linjalla 4 pohjavedenpinta on leikkauksen kohdalla tasolla 213 m mpy, mikä on yhdenmukainen linjan 1 profiilista tehdyn tulkinnan kanssa. Linjan 4 profiilista on havaittavissa, kuinka sekä kallionpinnan että pohjavedenpinnan tasot laskevat harjun laen pohjoispuolella olevan ojitetun suonpinnan tasolle. Linjan pohjoispäädystä vedellä kyllästyneen maa-aineskerroksen paksuudeksi tulkittiin 5 m, ja myös kallionpinta laskee suon laitaa kohden. Tämä voi viitata siihen, että muodostuma jatkuu suonpinnan alapuolella.

Linja 5 leikkaa muodostumaa sen keskimmäisen ja itäisimmän selänteen välissä olevassa notkelmassa. Pohjavedenpinta kohoaa kohti pohjoisen ojittamatonta suoaluetta, joten suovesien imeytyminen muodostumaan sen reunaosissa on mahdollista. Suo on jo aiemmassa rajauksessa määritetty pohjaveden vaikutusalueeksi, joten rajausta ei sen osalta ole tarpeen muuttaa. Pohjavettä johtavat maa-aineskerrokset kuitenkin jatkuvat myös linjan 5 pohjoispuolella suon alapuolelle, joten muodostumisalueen rajaa voi olla perusteltua laajentaa suoalueelle. Hienoainesmoreeniksi tulkittu rajapinta päättyy aivan linjan 5 itäpuolella.

Lauttalammenharjulla esiintyvät pohjavesipurkaumat ovat pääosin pieniä lähteitä ja tihkupintoja selänteiden reunamilla. Esiintymiä on laaja-alaisesti, mutta niiden virtaamat ovat pieniä, ja pohjavettä leviää ympäristön ekosysteemeihin osin sekoittumalla puron pintaveteen. Kinnunen (2005) toteaa, että harjun reunoilla lukuisina esiintyvät pienet pohjavesipuhkeamat voivat viitata hydrauliseen epäyhtenäisyyteen pohjavesimuodostuman sisällä. Tämä voi johtua esimerkiksi huonosti vettä johtavasta, hienorakeisesta maalajista tai kalliokynnyksistä. Sen sijaan virtaamaltaan huomattavat, harvalukuiset lähteet kertovat hyvästä vedenjohtavuudesta pohjavesiesiintymän ydinosassa. Lauttalammenharjun maatumkaluotausten poikkileikkausprofiileissa ei ole havaittavissa merkittäville pohjavesimuodostumille tunnusomaista soraydintä, vaan sen maa-aines on tulkittu lähes kauttaaltaan hiekaksi.

Antoisuuspumppauksissa tuotto oli kaiken kaikkiaan huono. Aivan pohjavedenpinnan alapuolelta, syvyydeltä 90 – 190 cm toteutetussa pumppauksessa se oli noin 14,5 litraa minuutissa. Mikäli oletetaan tuoton pysyvän samana myös pitkäaikaisessa pumppauksessa, vuorokausitasolla tämä tarkoittaa 20,8 m³ antoisuutta. Vesi ei kirkastunut tunnissa, ja siinä maistui rauta. Pumppaussyvyydellä olevassa hiekkakerroksessa on mahdollisesti rautasaostumia sisältävää hienoainesta, tai pohjoispuolisen suon vesiä on imeytynyt harjuun.

Syvyydeltä 200 – 300 cm tehdyssä pumppauksessa vedenpaine oli niin heikko, ettei paloletkuun pumpattu vesi päätynyt mittausastioille saakka. Pumppaussuutin oli korkeammalla kuin ensimmäisessä pumppauksessa, mutta koska antoisuuspumppauksiin soveltuvaksi katsotun pumpun pitäisi toimia alle 600 cm syvyyksiltä tapahtuvissa pumppauksissa (Kinnunen 2005), kerroksen vedenjohtavuus voi todellisuudessaakin olla heikko. Kairauksessa tälle syvyydellä määritettiin hiekkakerros, ja huonosta antoisuudesta päätellen aines on raekooltaan hienoa.

Pumppauspisteen sijainti lähellä selänteen reunaa voi vaikuttaa tuottoon. Kerrosrakenteet vaihtelevat jonkin verran pohjavesialueiden osien välillä, ja tämän vuoksi antoisuus voi merkittävästi muuttua muodostuman eri osissa (Kinnunen 2005). Koska harju on rakenteeltaan pitkänomainen, sen vedenjohtavuus voi antoisuuspumpauksen tuloksista huolimatta olla hyvä valtaosassa muodostumaa.

6.3.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosysteemeihin

Paikkatietotarkastelun yhteydessä havaittiin, että Lauttalammenharjun läntisimmän selänteen itäpuolella olevassa laaksossa, jossa Hämeenpuro virtaa, ortoilmakuvassa on ympäristöään vehreämpi vyöhyke. Tämän tulkittiin viittaavan pohjavesivaikutteisten ekosysteemien esiintymiseen alueella, joten selänteiden väliseen notkelmaan kiinnitettiin erityistä huomiota maastokäynneillä.

Selänteiden välisessä notkelmassa virtaavan Hämeenpuron (kuva 30) reunamilla kasvoi runsaasti yleisimpiä lähdeympäristössä tavattavia sammallajeja, joita esiintyi myös lännenpuoleisen rinteiden tihkupinnoilla. Hämeenpuron muoto ja sen ympäristön lajisto viittaavat luonnontilaisuuteen siltä matkalta, jonka se myötäilee harjuselännettä. Pohjavesialueen pohjoispuolella sillä kuitenkin on yhteys ojitetun suon vesiin, joten luonnontilaisuuden voi katsoa jonkin verran vaarantuneen. Toisena luonnontilaisuutta uhkaavana tekijänä voidaan pitää puron länsipuolella toteutettuja harvennushakkuita. Hämeenpuroon voidaan viitata luonnontilaisen kaltaisen elinympäristön käsitteellä, joka on metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä annetun valtioneuvoston asetuksen (1234/2010) 4. luvun 18 §:ssä määritetty tarkoittamaan sellaisia erityisen tärkeitä ekosysteemejä, joiden biologisen monimuotoisuuden olennaiset ominaispiirteet ovat säilyneet aikaisemmasta ihmistoiminnasta huolimatta.



Kuva 30. Lauttalammenharjun läntisen selänteen itäpuolella virtaava puro, jonka reunamilta löytyi lähdesammalia.

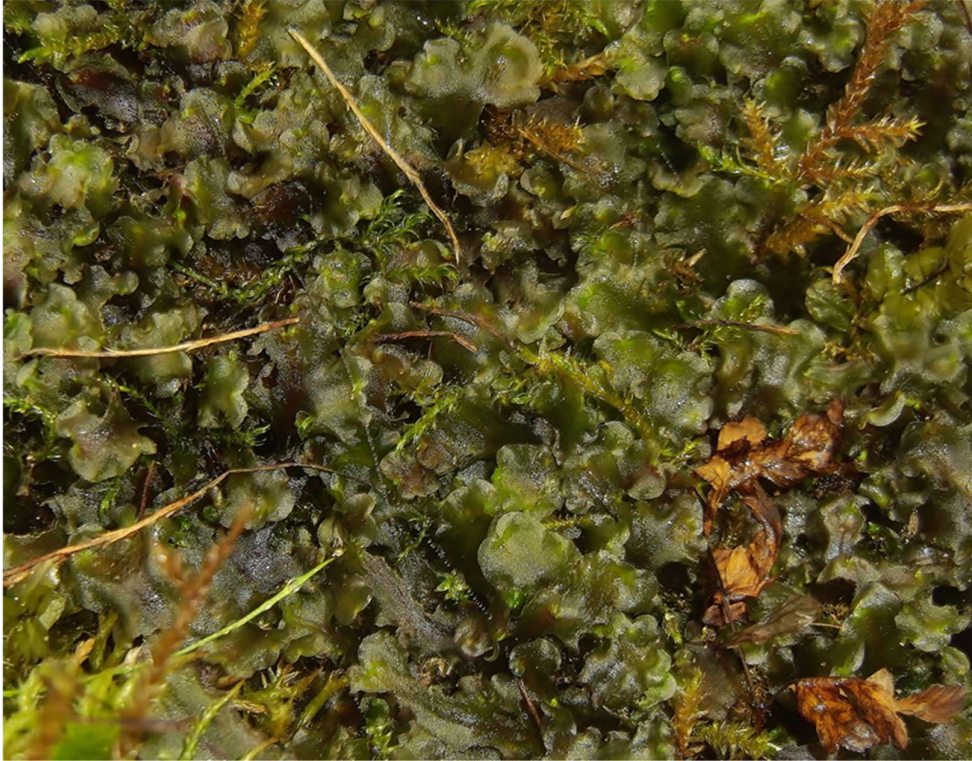
Sammalista otettiin maastossa näytteet, ja alustavat maastossa tehdyille, heimotasolle ulottuville tunnituksille saatiin varmennukset ELY-keskuksen luonnonsuojeluasiantuntijalta. Lehväsammallajeja löytyi useita, mutta niiden tarkempaan määrittämiseen resurssit eivät riittäneet. Ainakin yhtä yleisimmistä pohjavesiympäristöissä esiintyvistä lehväsammalista (Juutinen ja Kotiaho 2009), lähdelehväsammalta (*rhizomnium magnifolium*) (kuva 31a) kasvoi kohteella. Laji on luokiteltu elinvoimaiseksi koko Manner-Suomen alueella (Juutinen ja Ulvinen 2017), ja se ilmentää mesotrofista, eli keskiravinteista elinympäristöä (Pudas ja Siiro 2016). Soikeat, lanttokärkiset lehdet ja ruskeat juurtumahapset ovat hyviä tuntomerkkejä lähdelehväsammalen tunnituksessa (Laine et al. 2013). Alueella kasvoi myös muita lehväsammallajeja, ja kuvassa 31b on yksi tunnistamattomasta lajista otettu näyte. Suurikokoiset, voimakasversoiset lehväsammalet ovat todennäköisesti

kiiltolehväsammalia (*Pseudobryum cinclidioides*), jotka jykevän ja ruskean vartensa lisäksi voi erottaa suurista lehdistä, jotka kosteina kiiltävät voimakkaasti (Koponen 1980). Lauttalammenharjulla lehväsammallajit kasvoivat erityisesti puron reunoilla vierekkäin, jolloin oletetut kiiltolehväsammalet kohosivat muita lajeja korkeammalle. Tihkupinnat, joilla lajia esiintyi, erottuivat erityisen hyvin lehtien kiillon vuoksi (kuva 31c).

Löytyneet maksasammalet kuuluivat kinnassammalten (*Scapania sp.*) sukuun (kuva 32). Osa suvun lajeista muistuttaa ulkoisesti niin paljon toisiaan, ettei lajitason määrittäminen tehty tämän selvityksen yhteydessä. Myös E-luokan pohjavesialuekartoituksia varten suunniteltuun maastohavainnointilomakkeeseen (Pudas ja Siiro 2016) kinnassammalhavainnot merkitään sukutasolla.



Kuva 31. Lauttalammenharjun notkelmasta löytyneitä lehväsammalia: **a.** ylhäällä vasemmalla lähdelevhäsammal (*rhizomnium magnifolium*) **b.** ylhäällä oikealla määrittelemätön lehväsammallaji ja **c.** alakuvassa olevat sammalet erottuivat kasvupaikallaan kiiltonsa ja vahvan, ruskean vartensa vuoksi.



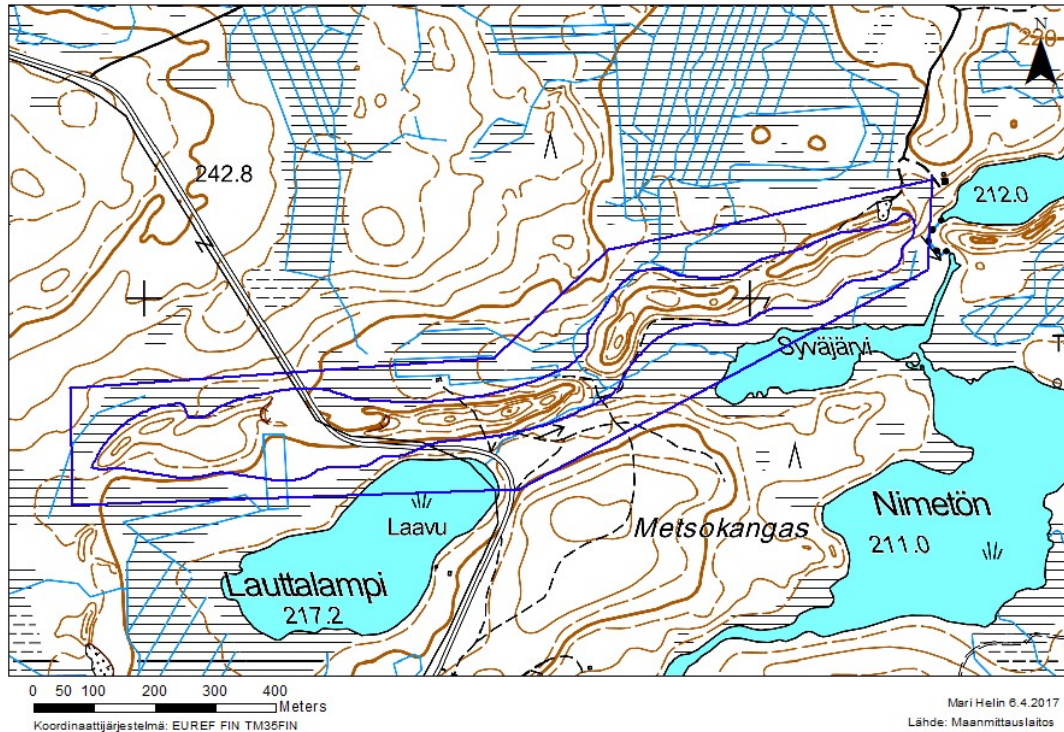
Kuva 32. Löytyneet maksasammalet kuuluivat kinnassammalten (*Scapania ssp.*) sukuun.

Lauttalammenharjun itäosassa sijaitsevan, yksittäistalouden vedenhankintaan käytetyn pohjavesipuhkeaman ympäristössä oli myös pohjavesiriippuvaista lajistoa, joten ekosysteemitason vaikutukset voidaan katsoa laaja-alaisiksi. Harjuselänteen puustoa ei ole ortoilmakuvan ja maastotarkastelun perusteella vastikään harvennettu pohjavesipuhkeaman lähetyvillä, joten luonnontilaisuuden säilymiselle on edellytyksiä (Juutinen ja Kotiaho 2009).

6.3.3. Uusi rajaus ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi

Lauttalammenharjulla pohjaveden muodostumisalueen rajoja muutettiin maatulkuutus- ja kairautulosten perusteella siten, että niitä siirrettiin kairauspisteeseen L2 ja maatulkuutuslinjan 1 väliin. Koska itäisimmän harjanteen eteläpuolella oleva kaivo tulvi, pohjavedenpinta oli todennäköisesti tulkittu maatulkuutusprofiiliin oikein, vaikkei pohjavettä purkautunut kairausten yhteydessä. Vettä pidättävä hienoainesmoreeni ja kalliokynnys estävät pohjaveden virtaamista kairauspisteelle saakka. Maatulkuutuslinjojen 4 ja 5 perusteella vettä johtavat maa-aineskerrokset jatkuvat suonpinnan alapuolelle, joten muodostumisalueen rajaa siirrettiin hieman

pohjoiseen luotauslinjan 1 pisteiden 61 ja 78 väliseltä 550 m matkalta. Uuden muodostumisalueen pinta-alaksi tuli 131 900 m² (kuva 33).



Kuva 33. Lauttalammenharjun pohjavesiesiintymälle määritetyt uudet rajat (Maanmittauslaitos 2017 g).

Pohjavedenpinnan yläpuolella on maastohavaintojen ja kairauksissa tehtyjen maainesmääritysten perusteella pääosin keskenään vuorottelevia, hyvin lajittuneen keskikarkean hiekan ja kohtalaisesti lajittuneen soran kerroksia. Muodostumassa on myös hienon hiekan kerroksia, mikä laskee vedenjohtavuutta. Keskikarkean hiekan kyky pidättää vettä on tyypillisesti n. 3 – 15 % ja soran 1 – 15 % (McWorter ja Sunada 1977; Todd 1980; Heath 1983). Koska vaihtelu on suurta, myös muodostuvan pohjavesimäärän arviointi on haastavaa. Pohjavedenpinta oli luotauslinjalla 1 keskimäärin syvyydellä 5,9 m. Imeytymiskertoimeksi laskettiin ääriarvoja käyttäen 0,19 – 0,44. Näillä arvoilla laskettu pohjaveden muodostusmäärä vaihtelee välillä 45 – 104 m³/vrk.

6.4. Hanhisuonharju

6.4.1. Muodostuman vedenhankinnalliset ominaisuudet

POVET-tietokannassa todettiin, että Hanhisuonharjun maa-aineskerrokset jatkuvat suonpinnan alapuolella. Sen myös esitetään mahdollisesti olevan joiltain osin synkliininen, eli suovedet saattavat imeytyvät harjuun, mikäli pohjavedenpinnan tasossa esimerkiksi pumppausten myötä tapahtuu muutoksia. Mahdollisesti tämän vuoksi vaikutusalueen raja on aiemmassa rajauksessa määritetty paikoitellen jopa 200 m päähän muodostumisalueen rajasta. Tämä on suositeltu suojavyöhykkeen leveys vesistöihin rajautuville synkliinisille muodostumille (Britschgi ja Rintala 2016). Pääosin harju kuitenkin on antikliininen, eikä POVET:issa mainittu, missä harjun osissa taipumus synkliinisyteen on voimakkainta.

Maa-aineshavaintoja tehtiin maastokäynnin yhteydessä tieleikkauksista, paikoista joissa kasvillisuus oli kulunut pois ja harjun seinämien kuopista. Havaintopisteissä materiaali oli hyvin lajittunutta hienoa ja keskikarkeaa hiekkaa. Myös maatutkaluotaustuloksista tehtiin vastaavanlaisia tulkintoja maa-aineksesta. Mikäli lajite on hienorakeista myös harjun ytimessä, pohjaveden tuotto voi olla keho. Siinä missä tuottoisuus, eli akviferin vesivaroistaan painovoimaisesti vapauttaman pohjaveden määrä on sorakerroksella 15 - 30 %, hienolla hiekalla se voi jäädä alle 10 %:n (Todd 1980). Antoisuus heikkenee entisestään, mikäli välissä on huonosti lajittuneen aineksen kerroksia. Maastokäynnillä harju todettiin suhteellisen matalaksi, joten pohjavettä ei välttämättä muodostu yli 100 m³ vuorokaudessa.

Kasvillisuuden suojelemiseksi ja rajallisen tieverkoston vuoksi Hanhisuonharjulla pystyttiin toteuttamaan vain yksi kairaus linjalla 3. Koska kyseessä on pitkä ja kapea muodostuma, joka on voitu sitoa kairaukseen vain sen itäpäässä, maatutkaluotaustulkintoihin erityisesti linjalla 2 tulee suhtautua varauksella. Profiilien rajapinnoista selkein heijaste on pohjavedenpinnaksi tulkittu yhtenäinen viiva, joka kohoa tasaisesti 2 km matkalla linjan 2 länsiosan tasosta 212 m mpy tasoon 224 m mpy linjan 3 itäpäässä. Tulkinnan uskottavuutta lisää se, että ympäröivien vesistöjen vedenpinnan korkeus kasvaa lännestä itään. Hanhisuonharjun länsiosan pohjoispuolisen järven vedenpinnan taso on 212 m mpy, kun se idässä sijaitsevan Hanhisuon lammissa on 225,1 m mpy.

Maa-aineksen rajapintojen kerrosrakenteet ovat hyvin samankaltaisia halki koko pohjavesialueen, ja erityisesti harjun pintaosissa oli nähtävissä heijasteita lajittuneelle hiekalle tyypillisestä ristikerroksellisuudesta. Maastohavaintojen ja kairaustulosten perusteella materiaalin tiedetään olevan hienoa hiekkaa, jonka vedenjohtokyky on vain kohtalainen pohjaveden muodostumisen kannalta. Keskiparkean tai karkean hiekan ja soran keskimääräinen hydraulinen johtavuus on 10 – 100 -kertainen hienon hiekan vedenjohtavuuteen verrattuna (Todd 1980). Harjun ydinosassa aines muuttuu ilmeisesti karkeammaksi, mutta koska signaalit heikkenevät syvyyden funktiona sähkömagneettisten aaltojen etenemisen hidastuttua hienorakeisessa väliaineessa (Salih 2007), hienon hiekan alapuolella olevien rakenteiden, kuten kallionpinnan tason määrittäminen osoittautui haastavaksi. Tämä hankaloittaa myös rajauspäättökseen tekoa, sillä kallionpinnan taso on pohjavedenpinnan tason ohella ratkaisevin akviferin kokoa määrittävä tekijä.

Kairauspisteessä pohjavedenpinta määritettiin tasolle 222,4 m mpy, mikä vastaa pohjoispuolisen suonpinnan tasoa. Pohjavesikerroksen maa-aines on kairauksen perusteella pääosin soraa ja hiekkaista soraa, joten maaperä muuttuu harjun ydinosissa paremmin vettä johtavaksi. Mikäli harjun rakenne on vastaava myös lännempänä, pohjavesi pääsee virtaamaan suhteellisen vapaasti vedellä kyllästyneissä maaperäkerroksissa. Pinnan aineksen hienorakeisuus kuitenkin laskee imeytymiskerrointa, jota käytetään pohjaveden muodostumismäärän arvioinnissa.

Maa-aines- ja pohjavesikerrosten on tulkittu olevan paksuimmillaan linjalla 3 pisteissä 103 – 105. Tämän harjulaajentuman alueella ei kuitenkaan voida suorittaa kairauksia, sillä se on kaavoitettu aarnimetsäksi Metsähallituksen maankäyttösuunnitelmassa. Maa-aines on luotausprofiilista tehdyn tulkinnan perusteella samankaltaista kuin kairauspisteessä. Pinnan materiaali on tulkittu hienoksi hiekaksi, ja syvemmällä aines muuttuu soraisemmaksi.

Pohjavedenpinnan taso vaikuttaa maatutkaluotausten ja kairausten perusteella olevan lähes suonpinnan tasossa, joten pääosa akviferista on suonpinnan alapuolella olevissa maa-ainekerroksissa. Muodostuma on siten antikliininen sellaisissa olosuhteissa, joissa pohjavedenpinta harjussa on suon tason yläpuolella, mutta on altis pohjaveden virtaussuuntien muutoksille, mikäli pohjavedenpinta laskee suon vedenpinnan alapuolelle. Esimerkiksi pumppausten yhteydessä poistettu pohjavesi voi korvautua synkliinisesti harjuun imeytyvällä suovedellä. Suon luonnontilaisuuden säilyttämisellä on sen vuoksi merkitystä myös pohjaveden suojelun näkökulmasta.

6.4.2. Muodostuman pohjaveden vaikutus tärkeisiin pohjavesiriippuvaisiin ekosysteemeihin

E-luokan kannalta kiinnostavin paikkatietotarkastelussa havaittu muodostuman osa on sen pohjoisreuna, joka rajautuu ojittamattomaan suohon. Suolla sijaitsevien norojen päät ovat harjuselänteiden reunamilla, mikä voi viitata pohjavesipuhkeamiin. Maastokartalle merkitty lähde sijaitsee yli 200 m päässä pohjavesialueen pohjoisrajasta ojittamattomalla suolla, joten sen pohjavesi on todennäköisesti peräisin pohjavesialuetta pienemmästä, vaaran juurelle kasaantuneeseen maa-ainekseen syntyneestä pohjavesiintymästä. Vaikka Hanhisuonharjun pohjavedellä ei olisikaan vaikutusta lähteen säilymiseen, lähde on luontotyyppinä erityisen tärkeä maaekosysteemi, jonka elinvoimaisuutta on syytä suojella suon luonnontilaisuuden tai luonnontilan kaltaisen tilan säilyttämisellä.

Maastokäynnillä pohjavesiriippuvaisille ekosysteemeille tunnusomaista lajistoa ei löytynyt. Pohjavettä voi purkautua suoalueelle tästä huolimatta, mutta rahkasammalvaltaisen suon ekosysteemin säilymisen kannalta se tuskin on merkittävä tekijä. Suo sijaitsee Mesiönvaaran Natura-alueen länsipuolella, on ojittamaton ja vaikutti muutoinkin luonnontilaiselta. Sillä voi siten olla harjulaajentuman vanhan metsän tavoin vaikutusta luonnonsuojelun alueen suojavyöhykkeenä, mutta ei aiheuta pohjavesialueen määrittämistä E-luokkaan, koska alueen tärkeiden luontotyyppien pohjavesiriippuvaisuus ei ole ilmeinen.

6.4.3. Uusi raja ja pohjaveden muodostumismäärän laskennallinen arviointi

Paikoitellen Hanhisuonharjun vaikutusalueen rajat on saatettu aiemmassa rajauksessa määrittää tarpeettoman laajalle, mikä voi hankaloittaa alueen maankäyttöä. Toisaalta pohjavesialueen koillispuolella sijaitsee Mesiönvaaran Natura-alue, joka on osa vanhojen metsien suojeluohjelmaa, ja siten aiheuttaa alueen pääasiallisen maankäyttömuodon, metsätalouden kannalta enemmän rajoituksia kuin pohjavesialue. Vaikka harju olisi itäosistaan antikliininen, merkittävää vaikutusta Hanhisuonharjun pohjavedellä tuskin Mesiönvaaran suojeltujen pienvesiekosysteemien kannalta on, sillä suojelualue sijaitsee maastossa harjua korkeammalla. Pohjavesialueen raja kuitenkin ulottuu koillisosastaan luonnonsuojelun alueen lounaisreunaan saakka.

Selvityksen yhteydessä ei alueelta olevan rajallisen aineiston vuoksi saatu sellaista lisätietoa, jonka nojalla Hanhisuonharjulla olisi voitu tehdä perusteltuja rajausmuutoksia. Siten muodostumisalueen pinta-ala pysyy ennallaan, ja on n. 103 450 m². Maa-aineksen kyky pidättää vettä arvioitiin siten, että pohjavedenpinnan yläpuolisille maa-aineksille tyypillinen arvo suhteutettiin kunkin maalajin kairauksessa määritettyyn kerrospaksuuteen. Laskelmassa huomioitiin ominaispidättyvyys (Heath 1983) keskikarkealle soralle (1 – 15 %), hienolle hiekalle (7 – 24 %) ja hienolle soralle (2 – 12 %) (McWorter ja Sunada 1977; Todd 1980; Heath 1983). Pohjavedenpinnan on luotausprofiilitulkintojen perusteella laskettu olevan keskimäärin 5,5 m syvyydellä. Imeytymiskertoimeksi saatiin 0,17 – 0,42, joten vaihtelu on suurta ääriarvojen välillä. Laskennallinen arvio pohjaveden muodostumismäärästä on 31,7 – 78,2 m³/vrk.

7. Johtopäätökset

7.1. Pohjavesialueiden uudelleenluokittelu

7.1.2. Kirkkosärkät

Kirkkosärkät on rakenteeltaan epäyhtenäinen, kalliokynnysten luonnehtima pohjavesialue. Pohjavesialue on vedenhankinnan kannalta epätodennäköinen kohde, sillä sen itäpuolella sijaitsee rakenteeltaan huomattavasti eheämpi, vedenhankintaan soveltuva Jaappaankankaan pohjavesialue. Esitänkin Kirkkosärkkien muodostuman poistamista pohjavesialueluokituksesta, sillä pohjaveden muodostuminen on suositusarvojen alarajalla 2-luokkaan määrittämistä ajatellen, ja alue on todennäköisesti epäyhtenäinen myös niistä osista, joille maatulkuotuslinjat eivät ulottuneet.

Kaikkien selvityksessä käytettyjen menetelmien yhteydessä todettiin, että Kirkkosärkkien maa-aines on valtaosin kivistä soraa, ja lajittunutta ainesta on vähän. Maatulkuotusten, kairausten ja maastotarkastelun yhteydessä havaittiin kallion kulkevan hyvin lähellä maanpintaa erityisesti pohjavesialueen keskiosan koillispuolella. Koska kairaukset auttoivat tarkentamaan maatulkuotuksista tehtyjä tulkintoja, uudet pohjaveden muodostumisalueen rajat määritettiin luotausprofiilien ja paikkatietotarkastelun perusteella siten, että linjoilla havaitut kalliokynnysten erottamat orsivesiesiintymät rajattiin alueen ulkopuolelle.

Alueen maa-ainesta on jo ennestään hyödynnetty laaja-alaisesti, mikä on muuttanut muodostuman luonnontilaa voimakkaasti. Rönty ja Eskelinen (2012) esittivätkin Kainuun

POSKI - hankkeen yhteydessä soranoton sallimista myös pohjavedenpinnan alaisissa kerroksissa. Selvitysmenetelmällä saadun uuden tiedon perusteella tällainen maankäyttö Kirkkosärkkien alueella on kannatettavaa, jotta painetta maa-aineksenottoon saadaan keskitettyä pois vedenhankinnallisilta ominaisuuksiltaan hyödynnettävissä olevista muodostumista.

7.1.3. Sikahaaro

Vesienhoitolain luvun 2a (19.12.2014/1263) mukaan 2-luokan pohjavesialueeksi voi määrittää sellaisen esiintymän, joka antoisuutensa tai muiden ominaisuuksiensa puolesta soveltuu turvaamaan yli viidenkymmenen ihmisen vedentarpeen. Ohjeellisena pohjaveden muodostumismäärän alarajana on 100 m³/vrk, mutta arvo ei ole ehdoton. Sikahaaron tapauksessa joudutaan soveltamaan tapauskohtaista harkintaa, sillä antoisuuspumppaustulokset ja laskennallinen arvio muodostuvan pohjaveden määrästä eivät ole yksiselitteiset. 2-luokan pohjavesialue voi sijaita vedenkäyttöalueisiin nähden siten, ettei sen pohjavettä ole taloudellisesti kannattavaa hyödyntää lähitulevaisuudessa, mutta tilanteen muuttuessa siellä voidaan tarvittaessa harjoittaa vedenottoa (Britschgi ja Rintala 2016).

Korkeiden rauta- ja mangaanipitoisuuksien ja vähähappisuuden vuoksi Sikahaaron vettä ei voida sellaisenaan hyödyntää talousvetenä (Asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015), vaan se vaatisi käsittelyä. Lounais-Suomen rannikkoseudulla, missä myös tärkeiksi luokitellut pohjavesiesiintymät ovat usein savenalaisia, on hyödynnetty myös sellaisia pohjavesiä, joiden rautapitoisuus ennen käsittelyä on ollut jopa 8900 µg/l (Joronen 2009). Kainuun supra-akvaattisella alueella, jonka glasifluvialiset muodostumat pääsääntöisesti koostuvat karkeammasta aineksesta kuin subakvaattisella rannikolla, tilanne on toinen (Johansson et al. 2005). Harvan asutuksen vähäisen vedentarpeen huomioiden on varsin todennäköistä, ettei Sikahaaron pohjavettä tulla hyödyntämään tulevaisuudessa, vaan vedenotto kohdistuu sellaisiin muodostumiin, joiden vesi on käyttökelpoista sellaisenaan.

Sikahaarolla pohjaveden laatu on jo ennestään vaarantunut lähelle pohjavedenpintaa ulottuneen soranoton vuoksi. Luonnontilaisten pohjavesialueiden suojelun kannalta onkin suositeltavaa, että Ympäristönsuojelulain 28 §:n mukaisia ympäristölupia ja maa-aineslupia keskitetään Sikahaaron kaltaisille alueille, joiden luonnontila on jo ennestään voimakkaasti muuttunut. Pitkään jatkuneen maa-aineksenoton, suuren

antoisuusvaihtelun ja pohjaveden huonolaatuisuuden vuoksi suosittelen Sikahaaron poistamista pohjavesialueluokituksesta.

7.1.4. Lauttalammenharju

Antoisuuspumpppauksen perusteella laskettu pohjaveden tuottoisuusarvio on 20,8 m³/vrk, kun taas pinta-alaan, maa-aineksen laatuun ja sääoloihin perustuva laskennallinen pohjaveden muodostumismäärä on 45 – 104 m³/vrk. Pelkkä antoisuuspumpkaus ei riitä kuvaamaan muodostuman pohjavesioloja, mutta kun huomioidaan muodostuman pieni pinta-ala, kairausten perusteella suhteellisen korkealla oleva kallionpinta ja pohjavesialueen epäyhtenäisyyteen viittaavien pienten pohjavesipurkaumien esiintyminen (Kinnunen 2005), vedenhankinnalliset ominaisuudet vaikuttavat riittämättömiltä 2-luokkaan siirtämistä ajatellen. Pohjavedenpinnan alaiset hienon hiekan kerrokset voivat lisäksi rajoittaa pohjaveden vapaata virtausta. Harjun pitkänomaisen rakenteen ja sen syrjäisen sijainnin vuoksi selvityksessä jouduttiin kuitenkin keskittymään muodostuman reunaosiin. Pohjaveden muodostumismäärän ja akviferin yhtenäisyyden tarkemmaksi arvioimiseksi tarvitaan lisäselvityksiä pohjaveden virtaussuunnasta ja -nopeudesta, sekä havaintoja maa-aineksen laadusta muodostuman keskiosissa.

Lauttalammenharjun pohjavesiesiintymällä on merkitystä alueella esiintyvien tärkeiden pohjavesiriippuvaisten ekosysteemien kannalta, vaikkei sen alueella muodostu riittävästi pohjavettä yhdyskuntien vedentarpeen turvaamiseksi. Suomen Ympäristökeskuksen ohjeistuksen (Britschgi ja Rintala 2016) mukaan E-luokkaan määritettävän esiintymän on täytettävä pohjavesialueen kriteerit niiltä osin, että sen maaperä mahdollistaa merkittävän pohjaveden muodostumisen ja virtauksen tai vedenoton. Antoisuudelle ei ole säädetty raja-arvoja, vaan sen riittävyys arvioidaan tapauskohtaisesti. Kairauksiin sitomisen jälkeen tarkennettujen maatulkuotustulosten perusteella pohjavesiyksikkö on uudelleenrajatun muodostumisalueen sisällä yhtenäinen, sillä pohjavedenpinnaksi tulkitussa heijasteessa ei havaittu luotauslinjalla 1 katkoksia. Harju on kapea, mutta soveltuu yksityistalouksien tarpeet kattavaan pienimuotoiseen vedenottoon. Tätä tukee myös se, että muodostuman itäosassa oleva kaivo oli maastokäyntien yhteydessä täynnä, ja sen vesi maistui, näytti ja tuoksui hyvälaatuiselta pohjavedeltä.

Esitän Lauttalammenharjun määrittämistä E-luokan pohjavesialueeksi. Tällä ei ole itsenäistä oikeusvaikutusta, vaan pohjaveden ylläpitämät ekosysteemit on jo ennestään suojeltu muulla lainsäädännöllä (Britschgi ja Rintala 2016). Määrittäminen E-luokkaan kuitenkin informoi toimijoita suojeltavien luontotyyppien esiintymisestä alueella, jolloin niiden elinvoimaisuuden turvaamiseksi sovellettava lainsäädäntö tulee varmemmin huomioitua esimerkiksi lupaharkinnan yhteydessä. Ominaisuusantoisuuspumppauksessa ilmenneen heikon tuoton ja vettä pidättävien rakenteiden vuoksi ehdotan, että pohjavesialueella toteutetaan lisäselvityksiä siitä, onko pohjavesiesiintymän antoisuus riittävä 2E-luokkaan määrittämiseksi.

7.1.5. Hanhisuonharju

Pohjavettä arvioitiin muodostuvan 31,7 – 78,2 m³/vrk joten tiukasti tulkittuna alue ei täytä 2-luokan pohjavesialueelle määritettyjä suosituksia pohjaveden muodostumismäärästä. Muodostuma voidaan kuitenkin määrittää pohjavesialueeksi, mikäli se on merkittävä alueen vesitalouden kannalta, vaikka pohjavettä muodostuisi alle 100 m³ (Britschgi ja Rintala 2016). Hanhisuonharju ei syrjäisen sijaintinsa vuoksi täytä tätä ehtoa, vaan lähialueella on lukuisia sitä antoisampia, edellisessä rajauksessa I- ja II-luokkiin määritettyjä pohjavesimuodostumia, jotka turvaavat kotitalouksien vedensaannin. Koska Hanhisuonharjun pohjavesi ei maastotarkastelun perusteella ylläpidä erityisen tärkeitä luontotyyppisiä, muodostuma ei kuulu myöskään E-luokkaan, ja niin ollen selvitystulosten perusteella suositan sen pudottamista pohjavesialueluokituksesta.

Harjulaajentuman aarnimetsä ei muutoksen seurauksena olisi kytköksissä Mesiönvaaran Natura-alueeseen pohjavesialueen rajojen kautta. Suurin osa niiden väliin jäävästä alueesta kuitenkin koostuu puuttomasta, luonnontilaisesta suoalueesta, johon ei siten kohdistu metsähakkuita, jotka olisivat uhka alueen vanhojen metsien suojelulle.

7.2. Jatkotutkimustarpeet ja pohjavesiselvityksen puutteet

7.2.1. Kairausten ja maaperänäytteenoton virhelähteitä

Kaikille kairauspisteille ei resurssirajoitteiden vuoksi ehditty tekemään seuraavana päivänä pohjavedenpinnan tarkistusmittauksia. Osa kairareista taas sortui ja täyttyi maaineksella maaputkien poiston jälkeen, jolloin pohjavedenpinta on saatu määritettyä ainoastaan maaputkien läpi.

Näytteenotto kairausten yhteydessä tuli kaluston rajoituksista johtuen toteuttaa maatutkaluotausten antaman summittaisen informaation ja jossain määrin myös kairaustuntuman perusteella, sillä näyte tuli ottaa häiriintymättömästä kerroksesta. Tämän vuoksi näytteenotto voitiin useissa tapauksissa aloittaa vasta, kun kairauksissa havaittiin tavoitellun maa-aineskerroksen alkaneen. Esimerkiksi tilanteissa, joissa maatutkaluotausprofiileissa oli yhtäjaksoinen ja riittävän paksu vettä johtava maa-aineskerros, ja maanpinnalle alkoi ilmanpaineen vaikutuksesta purkautua kairareistä hienoa soraa, näytteenotin ajettiin maahan maaputkien alapuolella olevaan osaan. Toisinaan se maa-aineskerros, josta näyte oli alun perin tarkoitettu ottaa, päättyi pian näytteenottotason alapuolella.

Koska näyteputket olivat yhden ja kahden metrin pituisia, yhdellä näytteenottokerralla tuli tavallisesti maa-ainesta useammasta kuin yhdestä kerroksesta. Näyteputken sisältö tyhjennettiin sinkkiämpäriin, joten eri maakerrosten sekoittumista pääsi väistämättä tapahtumaan. Kun havaitsimme selkeän muutoksen kerroksen ominaisuuksissa, keskeytimme näyteputken tyhjentämisen, ja tarkistimme mittanauhalla, kuinka paljon näyteputkessa olleesta maa-aineksesta oli siirtynyt saaviin.

7.2.2. Taloudelliset rajoitteet

III-luokkaan on edellisessä rajauksessa määritetty sellaisia pohjavesiesiintymiä, jotka eivät ole täyttäneet ympäristöhallinnon ohjeistukseen perustuvia edellytyksiä, jotta ne olisi voitu luokitella vedenhankintaan soveltuviksi pohjavesialueiksi. Osa muodostumista on luokiteltu muuksi pohjavesialueeksi pohjavesiselvitysten tulosten perusteella, mutta erityisesti Pohjois-Suomessa on runsaasti vaillinaisesti tutkittuja III-luokan pohjavesialueita (Hallituksen esitys 101/2014).

Pohjavesialueille on Vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) nojalla tehtävä ominaispiirteiden alkutarkastelu, mutta muodostumien suuren määrän vuoksi budjetti selvitysten tekoon yksittäisellä pohjavesialueella on niukka. Koska monet III-luokan pohjavesialueista ovat kooltaan pieniä tai sijainniltaan syrjäisiä, niiden perusteellinen tutkiminen voi osoittautua taloudellisesti kestävämmäksi. III-luokan pohjavesialueille kohdistuvissa selvityksissä säästettyjä varoja onkin yhdyskuntien vesihuollon turvaamisen kannalta järkevää kohdentaa esimerkiksi sellaisten II-luokan pohjavesialueiden tutkimiseen, joille on suunnitteilla vedenottoa.

Uudelleenrajausta- ja luokittelua pyritään tekemään siten, että mahdollisimman edullisilla menetelmillä saadaan rajauksen kannalta riittävän kattava kuva alueellisista yleispiirteistä. III-luokan alueilla tämä tarkoittaa sitä, että pääpaino on paikkatieto- ja maastotarkastelussa, joiden tuloksia voidaan täydentää maatulkuoetuksilla ja muutamilla kairauksilla tarkkaan harkituissa pisteissä. Ominaisantoisuuspumppauksia voidaan toteuttaa sellaisilla alueilla, joiden soveltuvuutta vedenhankintaan on tarpeellista selvittää tarkemmin.

7.2.3. Sikahaaro

Muodostuvan pohjaveden määrän arviointi oli Sikahaaron tapauksessa haastavaa. Antoisuuspumppauksissa ilmeni, että ainakin pumppauspisteellä tuotto oli hyvin vaihteleva eri maa-aineskerroksissa. Laskennallinen arvio pohjaveden muodostumisesta oli pienempi kuin syvyydeltä 410 – 510 cm toteutetun pumppauksen perusteella laskettu vuorokaudessa saatavan pohjaveden määrä, mutta suurempi kuin syvyydeltä 195 – 295 cm tulosten perusteella tehty laskelma. Koska antoisuuspumppauspiste ei sijainnut muodostuman keskiosassa, jossa vedenvirtaus tyypillisesti on voimakkainta, voidaan kairauspisteen S2 läheisyydessä toteuttaa toinen kerrospumppaus, mikäli pohjaveden muodostumismäärän vaihteluita alueen eri osissa katsotaan tarpeelliseksi kartoittaa.

Pienen Hiidenvaaran suunnasta tulevan valunnan osuudesta tarvittaisiin lisäselvityksiä, jotta pinta-alaan, maalajitteiden ominaisantoisuuteen ja sadantaan pohjautuvaa laskennallista arviota voitaisiin tarkentaa luotettavammaksi. Kun huomioidaan alueen maankäyttöhistoria, voimassa oleva maa-aineslupa ja pohjaveden kelpaamattomuus talousvedeksi, lisäselvitysten teko Sikahaarolla on epätodennäköistä.

7.2.4. Lauttalammenharju

Maatulkuoetuslinjat eivät kata koko harjua sen pituussuunnassa, vaan luotuslinjan 1 alkupiste on Lauttalammen itäreunan pohjoispuolella, vaikka pohjavesialue jatkuu hiekkatien länsipuolella. Mikäli muodostuman rakenteesta halutaan tämänhetkistä kattavampi kuva, sen lounaisosaan voidaan tehdä maatulkuoetus muiden lähialueille kohdistuvien pohjavesiselvitysten yhteydessä. Tämän lisäksi harjun itäosassa olevan,

pohjavettä eristävän hienoainespitoisen kerroksen laajuutta voitaisiin arvioida linjan 1 pohjoispuolisella toisella pitkittäisellä linjalla. Jatkamalla tätä linjaa siten, että se kulkee pitkin muodostuman pohjoispuolella olevan suon reunaa, saataisiin lisääineistoa siitä, jatkuvatko poikkileikkausprofiileissa havaitut maaperäkerrokset koko selänteen matkalta suonpinnan alapuolella.

Ominaisuusantoisuuspumppauksesta saatuihin tuloksiin tulee suhtautua varauksella, sillä ne kuvaavat vain pumpattavan maa-aineskerroksen kyseisellä ajanhetkellä johtaman pohjaveden määrää, ja jotta pohjaveden todellinen muodostumismäärä saadaan selville, vaaditaan pidempiaikaisia koepumppauksia. Koska Lauttalammenharju on sijainniltaan syrjäinen, ja sen pohjavettä ollaan lähitulevaisuudessa hyödyntämässä lähinnä vain yksittäisten talouksien käyttöön, kalliit ja luonnontilaa häiritsevät (Kinnunen 2005) koepumppaukset voidaan nähdä tarpeettomina. Mikäli alueen vedenhankinnallisia ominaisuuksia halutaan tehdä lisäselvityksiä, antoisuuspumppaus tulisi toteuttaa harjun keskiosissa. Tällöinkin kaluston siirtäminen paikalle aluskasvillisuutta tuhoamatta olisi haastavaa, joten sen tulisi olla tässä selvityksessä käytettyä GM-200 kairakonetta kevytrakenteisempi.

Pohjaveden pääasiallista virtaussuuntaa ei tunneta, mutta havaitut pohjavesipuhkeamat sijaitsevat selänteiden päissä. Virtaamaolojen selvittämiseksi pohjavesipuhkeamien ja kaivojen vedenpinnan korkeutta tulisi seurata, ja alueelle olisi asennettava seurantaputkia. Pohjavesiesiintymän vesitaseen määrittämiseksi mitataan lähteiden ylivuotoa (Kinnunen 2005). Koska ylivuoto vaihtelee merkittävästi säätilojen vaikutuksesta ja vuodenaikojen välillä, monitoroinnin tulisi olla säännöllistä.

8. Kiitokset

Haluan kiittää Elli Moilasta aiheen ideoinnista ja lainsäädännöllisten näkökulmien valaisusta, Eila Hietaharjua neuvoista tietokantoihin ja yliopiston valmistumiskäytäntöihin liittyen, biologi Jouko Saastamoista opastuksesta lähde-ekosysteemien ja indikaattorilajiston tunnistuksessa, sekä Risto Pollaria suuresta avusta ja vieraanvaraisuudesta maatutkaluotausten ja kairaustulosten sitomisen yhteydessä.

9. Lähteet

Aario, R. ja Forsström, L. 1979. Deglaciation stratigraphy of Koillismaa and North Kainuu, Finland. *Nordia* Vol. 13:3.

Aario, R. 1990a. On the glacial setting of Northern Finland. Julkaisussa: Aario, R. (toim.). *Glacial heritage of northern Finland. Third International Drumlin Symposium, Oulu 1990, Finland. Excursion guide. Nordia tiedonantoja A, 1, 33—49.*

Aario, R. 1990b. The area of Northern Kainuu, Koillismaa and Peräpohjola. Julkaisussa: Aario, R. (toim.) *Glacial heritage of northern Finland. Third International Drumlin Symposium, Oulu 1990, Finland. Excursion guide. Nordia tiedonantoja A, 1, 33—49.*

Annan, A.P. 2009. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. Teoksessa: Jol, H.M. (toim.) *Ground penetrating radar: theory and applications. Elsevier Science, Amsterdam. 315 s.*

Britschgi, R., Antikainen, M., Ekholm-Peltonen, M., Hyvärinen, V., Nylander, E., Siiro, P. ja Suomela, T. 2009. *Ympäristöopas 2009: Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. 75 s.*

Britschgi, R. ja Rintala, J. 2016. *Pohjavesialueet - määrittäminen, luokitus ja suojeleusuunnitelmat. Ohjeluonnos 29.11.2016. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki. 124 s.*

Bums, N.M. ja Ross, C. 1971. Nutrient relationships in a stratified lake. Julkaisussa: *Proceedings of the 14th Conference on Great Lakes Research, Annual Meeting of the International Association for Great Lakes Research, Toronto, 1970. s.749—760.*

Chapman, D. ja Kimstach, V. 1996. Chapter 3 - Selection of water quality variables. Julkaisussa: Chapman, D. (toim.). *Water quality assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second edition. University Press, Cambridge. s. 74—133.*

Clifford, J. 2015. Kainuun ELY-keskuksen tilaamat Suomussalmen maatutkaluotaukset. Maatutkaluotauslinjat maastokartalla. **a.** Kirkkosärkät **b.** Sikahaaro **c.** Hanhisuonharju. Geo-Work Oy.

Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.-X. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart, *Episodes* vol. 36 no. 3:199 - 204.

Coulomb, C. A. 1776. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs, a la architecture. *Mem. Acad. Roy. Div. Sav.*, vol. 7:343—387.

De Geer, G. 1890. Om Skandinaviens nivåförändringar under quartärtiden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 12:61–110.

Eronen, M. ja Haila, H. 1981. The highest shore-line of the Baltic in Finland. *Striae* 14:157–158.

Eronen, M. ja Haila, H. 1992. Tärkeimmät muinaisrannat. Julkaisussa: Suomen kartasto, Vihko 123–126, *Geologia*. Alalammi, P. (toim.) Maanmittaushallitus ja Suomen maantieteellinen seura, Helsinki. 17s.

Euroopan Unionin säädöskokoelma. 2000. Euroopan parlamentin ja neuvoston vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY.

Euroopan Unionin säädöskokoelma. 1992. Neuvoston direktiivi luontotyyppien sekä luonnonvaraisen eläimistön ja kasviston suojelusta 92/43/ETY.

Gaál, G. ja Gorbatshev, R. 1987. An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield. *Precambrian Research* 35. s.15 - 52.

Geologian tutkimuskeskus. 2009. Kallioperä - Bedrock of Finland 1:200 000. Digitaalinen kartta. ETRS-TM35FIN

Geologian tutkimuskeskus. 2010. Maaperäkartta 1:200 000. Digitaalinen kartta. ETRS-TM35FIN

Hallitus. 2014. Hallituksen esitys 101/2014 eduskunnalle laiksi vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain muuttamisesta.

Haavisto-Hyvärinen, M. ja Kutvonen, H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 61 s.

Heath, R.C. 1983. Basic ground-water hydrology. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220. 86 s.

Heino, J., Virtanen, R., Vuori, K-M., Saastamoinen, J., Ohtonen, A. ja Muotka, T. 2005. Spring bryophytes in forested landscapes: Land use effects on bryophyte species richness, community structure and persistence. *Biological Conservation* 124:539–545.

Idi, B.Y. ja Kamarudin, M.N. 2011. Ground Water Estimation and Water Table Detection with Ground Penetrating Radar. *Asian Journal of Earth Sciences* 4:193–202.

Johansson, P., Kujansuu, R. ja Mäkinen, K. 2005. Sora- ja hiekka- ja hietakerrostumat. Julkaisussa: Johansson, P. ja Kujansuu, R. (Toim.) Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. s. 51–75.

Johnstone, J. 1797. An account of the most approved mode of draining land; according to the system practised by Mr. Joseph Elkington, late of Princethorp, in the County of Warwick: with an appendix, containing hints for the farther improvement of bogs and other marshy ground, after draining: together with observations on hollow and surface

draining in general. The whole illustrated with explanatory engravings. Mundell & Son. Edinburgh.

Joronen, L. 2009. Turun, Kaarinan ja Ruskon pohjavesialueiden suojelusuunnitelma. Turun kaupunki, Kaarinan kaupunki, Ruskon kunta ja Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Turku 2010. 125 s.

Juutinen, R. ja Koti-aho, J.S. 2009. Lähteikköjen luonnontilan ja sammalajiston pitkäaikaismuutokset. Suomen Ympäristö 19/2009. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 118 s.

Juutinen, R. ja Ulvinen, T. 2017. Suomen sammalien levinneisyys eliömaakunnissa. Suomen ympäristökeskus. 3.1.2017. 33 s.

Keller, B.M., Kratz, K.O., Mitrofanov, F.P., Semikhatov, M.A., Sokolov, B.S., Koponen, T. 1980. Lehtisammalten määrittämisopas. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 62. Helsinki. 117 s.

Korkka-Niemi, K ja Salonen, V-P. 1996. Maanalaiset vedet - pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A:50. Vammala, Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus. 181 s.

Kurimo, H. 1979. Late glacial ice flows, deglaciation and associated events in Northern Kainuu and Peräpohjola, North-East Finland. A glacial morphology study. Joensuun korkeakoulun julkaisuja, sarja B, nro.11. 64 s.

Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. ja Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Tutkimusraportti 155. Geologian tutkimuskeskus. 92 s.

Laine, J., Sallantausta, T., Syrjänen, K. ja Vasander, H. 2003. Sata sammalta. Metsäkustannus 2013. 144 s.

Luukkonen, E.J. ja Sorjonen-Ward, P. 1998. Arkeinen Kallioperä - ikkuna 3 miljardin vuoden taakse. Teoksessa: Lehtinen, M, Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.) Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Suomen Geologinen Seura ry. 375 s.

Maanmittauslaitos. 2017 a. 1. Taustakarttarasteri 2. Tie- ja katuverkko. Käytetty 7.4.2017.

Maanmittauslaitos. 2017 g. Maastokarttarasteri. Käytetty 6.4.2017.

McWhorter, D.B. ja Sunada, D.K. 1977. Ground-water Hydrology and Hydraulics. Water Resources Publication, Colorado. 290 s.

Mitchum, R.M., Vail, P.R. ja Sangree, J.B. 1977. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. Julkaisussa: Payton, C.E. (Toim.) Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 16:117–123.

Nakashima, Y., Zhou, H. ja Sato Motoyuki. 2001. Estimation of groundwater level by

GPR in an area with multiple ambiguous reflections. *Journal of Applied Geophysics* 47 2001:241–249.

Neal, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews* 66:261–330.

Neal, A. ja Roberts, C.L. 2000. Applications of ground-penetrating radar (GPR) to sedimentological, geomorphological and geoarchaeological studies in coastal environments. Julkaisussa: Pye, K. ja Allen, J.R.L. (Toim.) *Coastal and Estuarine Environments: Sedimentology, Geomorphology and Geoarchaeology*. Geological Society of London, Special Publications 175:139–171.

Neal, A. ja Roberts, C.L. 2001. Internal structure of a trough blowout, determined from migrated ground-penetrating radar profiles. *Sedimentology* 48:791–810.

Niini, H. 1968. A study of rock fracturing in valleys of Precambrian bedrock. *Fennia* 97. 60 s.

Ojala, A.E.K. ja Palmu, J.-P. 2007. Sedimentological characteristics of Late Weichselian-Holocene deposits of the Suurpelto area in Espoo, southern Finland. Julkaisussa: Johansson, P. ja Sarala, P. (toim.) *Applied Quaternary research in the central part of glaciated terrain: proceedings of the INQUA Peribaltic Group Field Symposium 2006, Oulanka biological research station, September 11.-15.* Geological Survey of Finland. Special Paper 46. Geological Survey of Finland, Espoo, 147-156.

Okko, V. 1945. Untersuchungen über den Mikkeli-Os. *Fennia* 69.

Pudas, E. ja Siiro, P. 2016. E-luokan pohjavesialueet: E-luokan pohjavesialueiden luokittelun tukeminen ja luokitteluohjeen testaaminen. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristäkeskus. Raportteja 87/2016. 28 s.

Peuraniemi, V. 1982. Geochemistry of till and mode of occurrence of metals in some moraine types in Finland. Geological Survey of Finland. Bulletin 322. 75 s.

Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J.-P., Karlsson, P. ja Ruuhela, R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 - 2010. Ilmatieteenlaitoksen raportteja 2012:1. Helsinki. 96 s.

Punkari, M. 1980. The ice lobes of the Scandinavian ice sheet during the deglaciation in Finland. *Boreas* 9, 4:307–310.

Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. *Suomen Ympäristö* 2/2012.

Rönty, H. 2011. Kainuun POSKI 2011 - Hyrynsalmen, Puolangan, Ristijärven ja Suomussalmen sora- ja hiekkamuodostumia. Maastoraportti 93/2012. Geologian tutkimuskeskus, Kuopio. 53 s.

- Rönty, H. ja Eskelinen, A. 2012.** Kainuun POSKI 2012. Tutkimusraportti 96/2012. Geologian tutkimuskeskus, Kuopio. 133 s.
- Saarnisto, M. 2000.** Shoreline displacement and emergence of lake basins. Julkaisussa: Pajunen, H. (toim.) Carbon in Finnish lake sediments. Geological Survey of Finland, Special Paper 29:25–34.
- Saastamoinen, J. 1989.** Harjujen ja moreenimaiden lähteiden ekologiasta, sammalajistosta ja sammalkasvillisuudesta Pohjois-Karjalassa ja Etelä-Kainuussa. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopiston biologian laitos. 35s.
- Salih, S.A. 2007.** Applications of ground penetrating radar (GPR) in detection of behaviour of groundwater table near pumping well. Tikrit Journal of Pure Science Vol. 12 No. 1/2007. 13s.
- Sederholm, J.J. 1913.** Weitere Mitteilungen über Bruchspalten mit besonderer Beziehung zur Geomorphologie von Fennoscandia. Bulletin de la Commission géologique de Finlande 37. 66 s.
- Sokolov, V.A. ja Shurkin, K.A. 1977.** Vsesoyuznoe Soveshchanie po obshchim voprosam raschleneniya dokemriya SSSR (All Union conference on the general problems of subdivision of the Precambrian in the USSR.). Soviet Geology 12:145 - 149.
- Suomen säädöskokoelma. 2004.** Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 30.12.2004/1299.
- Suomen säädöskokoelma. 2006.** Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 30.11.2006/1040.
- Suomen säädöskokoelma. 2010.** Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1234/2010.
- Suomen säädöskokoelma. 2011.** Vesilaki 27.5.2011/587.
- Suomen säädöskokoelma. 2014.** Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014.
- Suomen säädöskokoelma. 2014.** Ympäristönsuojelulaki 527/2014.
- Suomen säädöskokoelma. 2015.** Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015. Liite 1: Talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset.
- Suomen Ympäristökeskus.** Pohjavesitietojärjestelmä POVET.
- Todd, D.K. 1980.** Groundwater Hydrology. 2. painos. John Wiley, New York 535 s.
- van Heteren, S., Fitzgerald, D.M., McKinlay, P.A. ja Buynevich, I.V. 1998.** Radar facies of paraglacial barrier systems: coastal New England, USA. Sedimentology 45:181–200.

Virkkala, K. 1954. Suomen geologinen kartta. 1:100 100 Maaperäkartan selitys: Suomussalmi, lehti 4422. Geologinen tutkimuslaitos, Helsinki. 46 s.

Yilmaz, O. 1987. Seismic data processing. Society of Exploration Geophysicists:154–234.

Ympäristölautakunta. 2015. Hakolan sora-alueen maa-aineslupapäätös 1701/77.772/2015.

Maanmittauslaitos. 2017 b. Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkartta 1: 200 000. Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi> Sivulla vierailtu 18.3.2017.

Maanmittauslaitos. 2017 c. 1. Maanmittauslaitoksen maastokartta 2. Suomen ympäristökeskuksen pohjavesialuerajat. Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi> Sivulla vierailtu 9.2.2017.

Maanmittauslaitos. 2017 d. Maanmittauslaitoksen maastokartta. Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi> Sivulla vierailtu 22.2.2017.

Maanmittauslaitos. 2017 e. 1. Maanmittauslaitoksen ortokuvat 2. Suomen ympäristökeskuksen pohjavesialuerajat. 3. Suomen ympäristökeskuksen Luonnonsuojelu- ja erämaa-alueet. Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi> Sivulla vierailtu 25.2.2017.

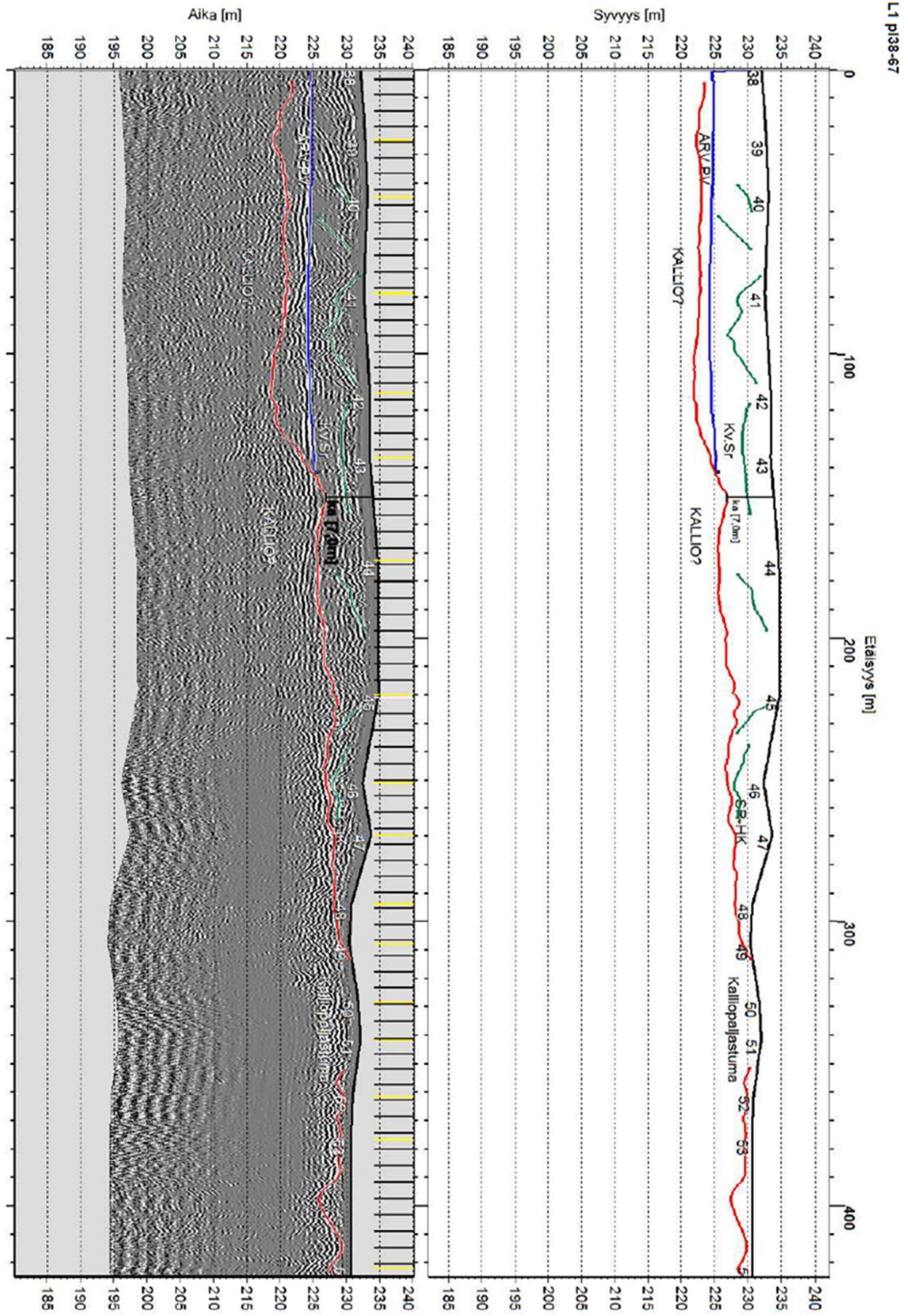
Maanmittauslaitos. 2017 f. Taustakarttarasteri. Paikkatietoikkuna. <http://www.paikkatietoikkuna.fi> Sivulla vierailtu 18.3.2017.

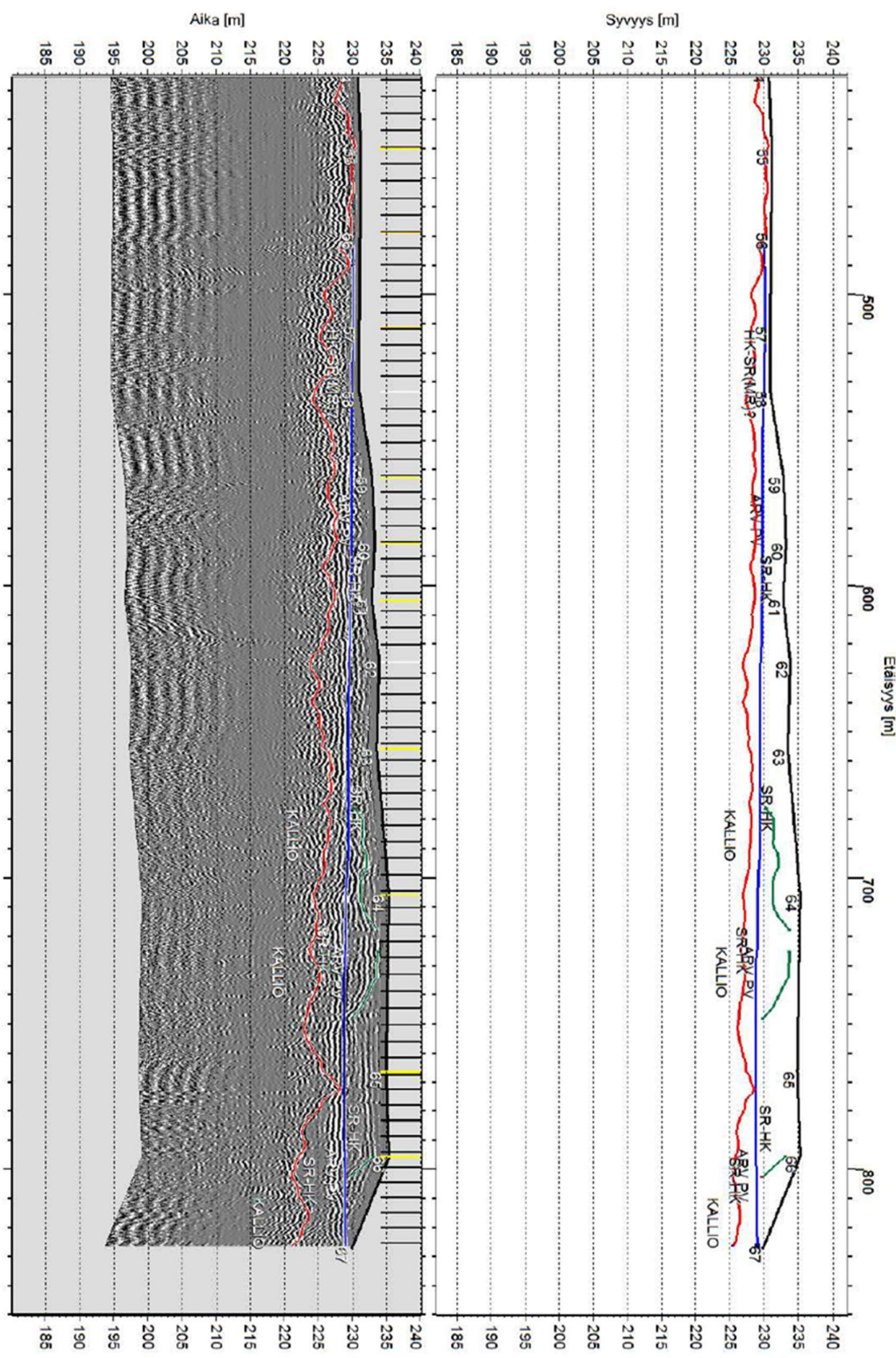
Suomen Ympäristökeskus. 2013. Vuositiedote 2012. Haihdunta. www.ymparisto.fi Sivustolla vierailtu 30.4.2017.

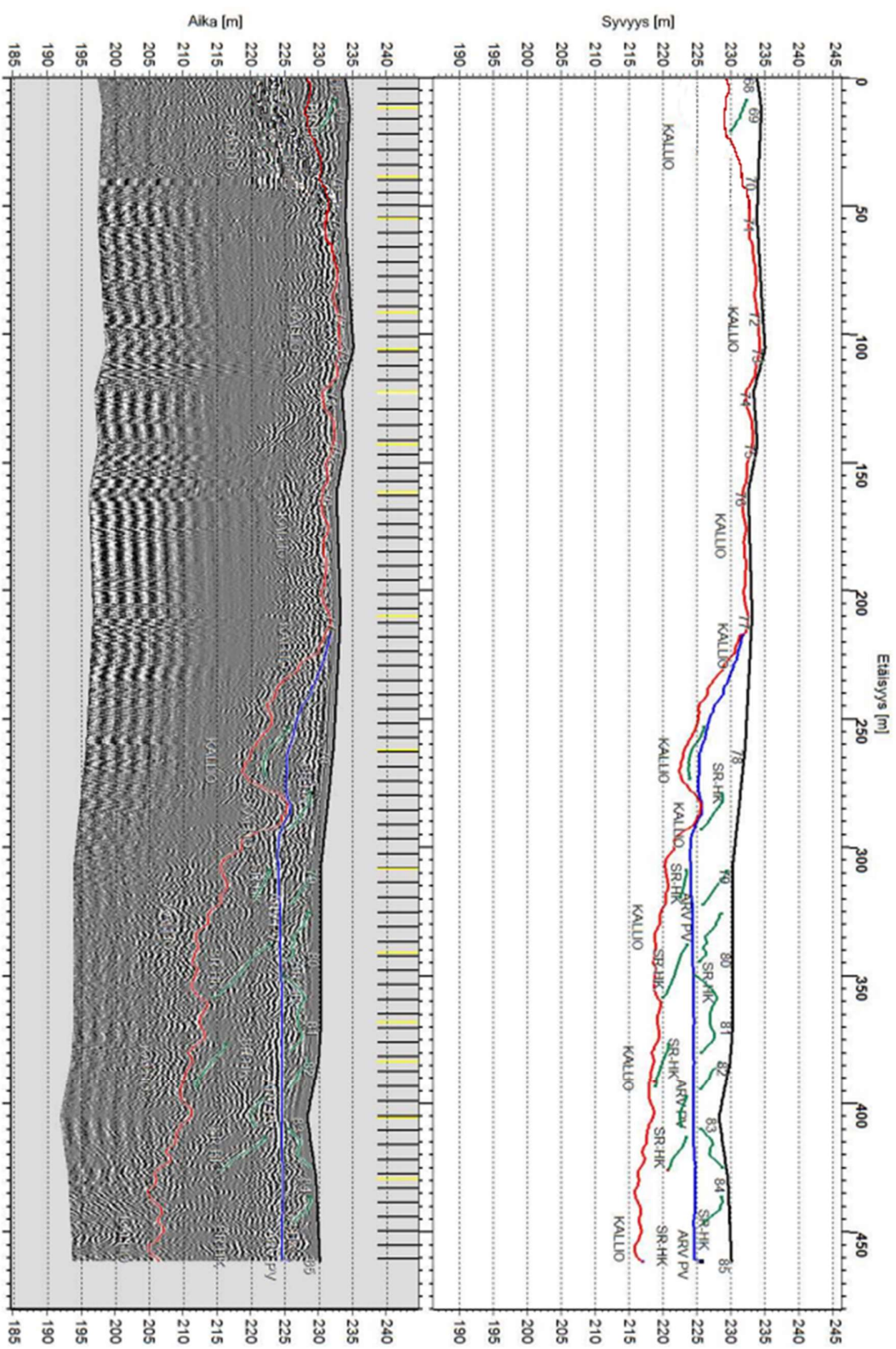
LIITTEET

Liite 1. Maatutkaluotausprofiilit

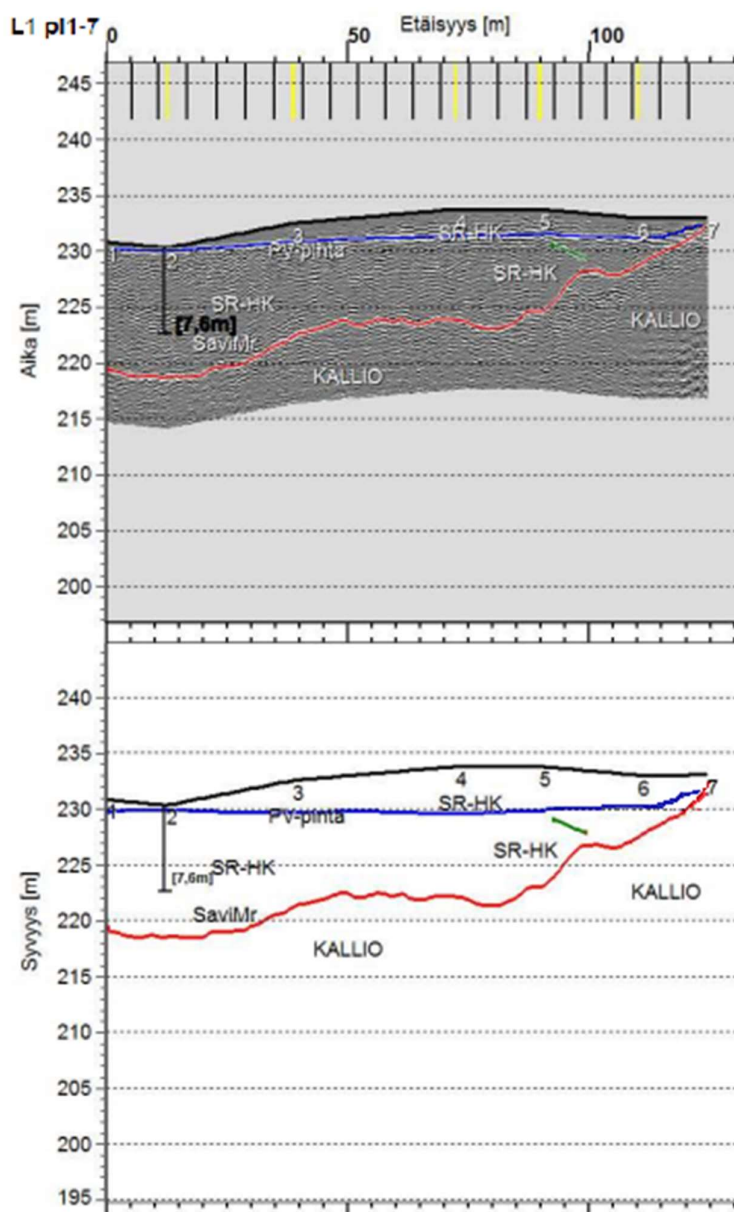
A. Kirkkosärkät: Linjat 1 ja 2



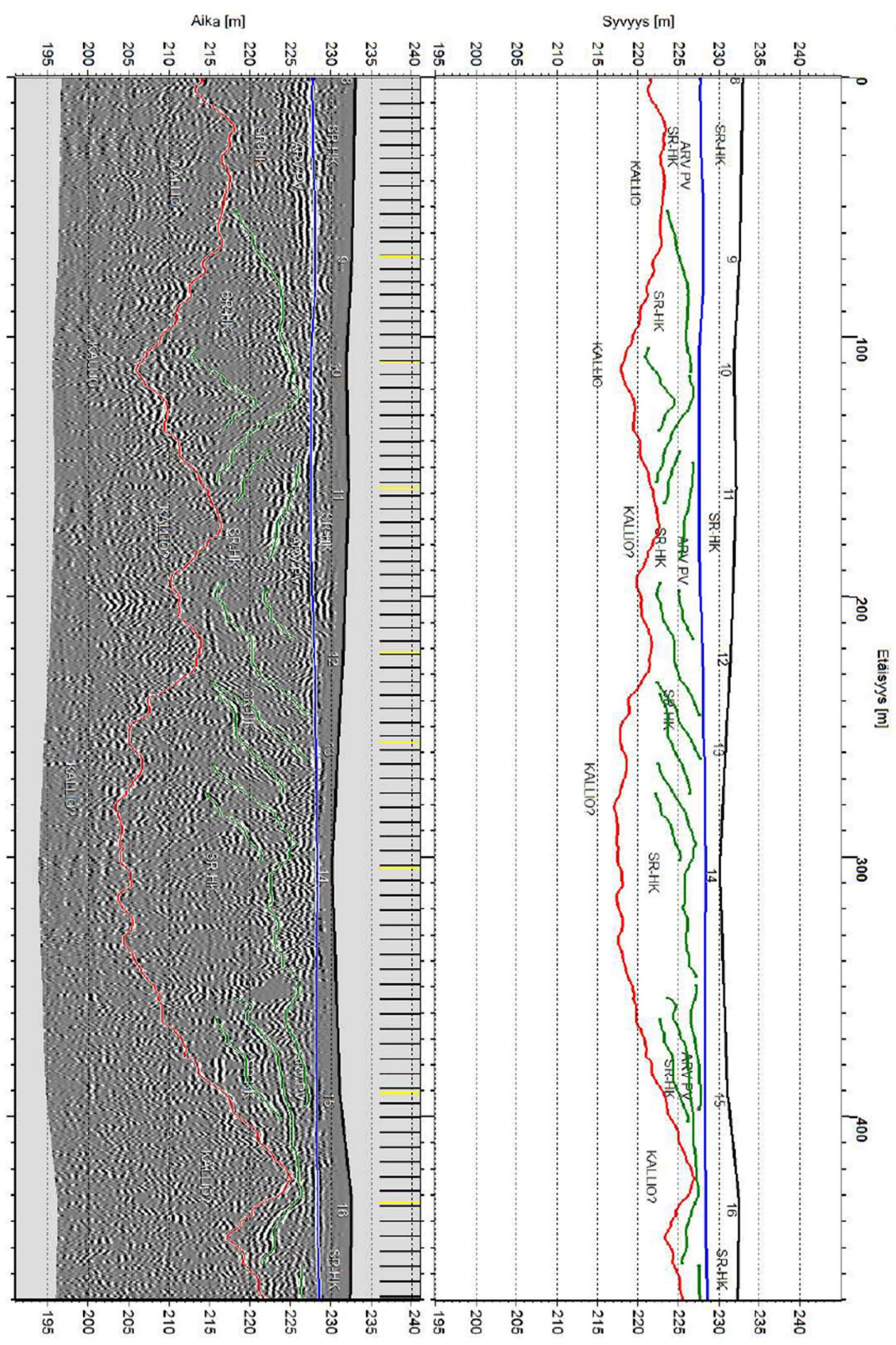


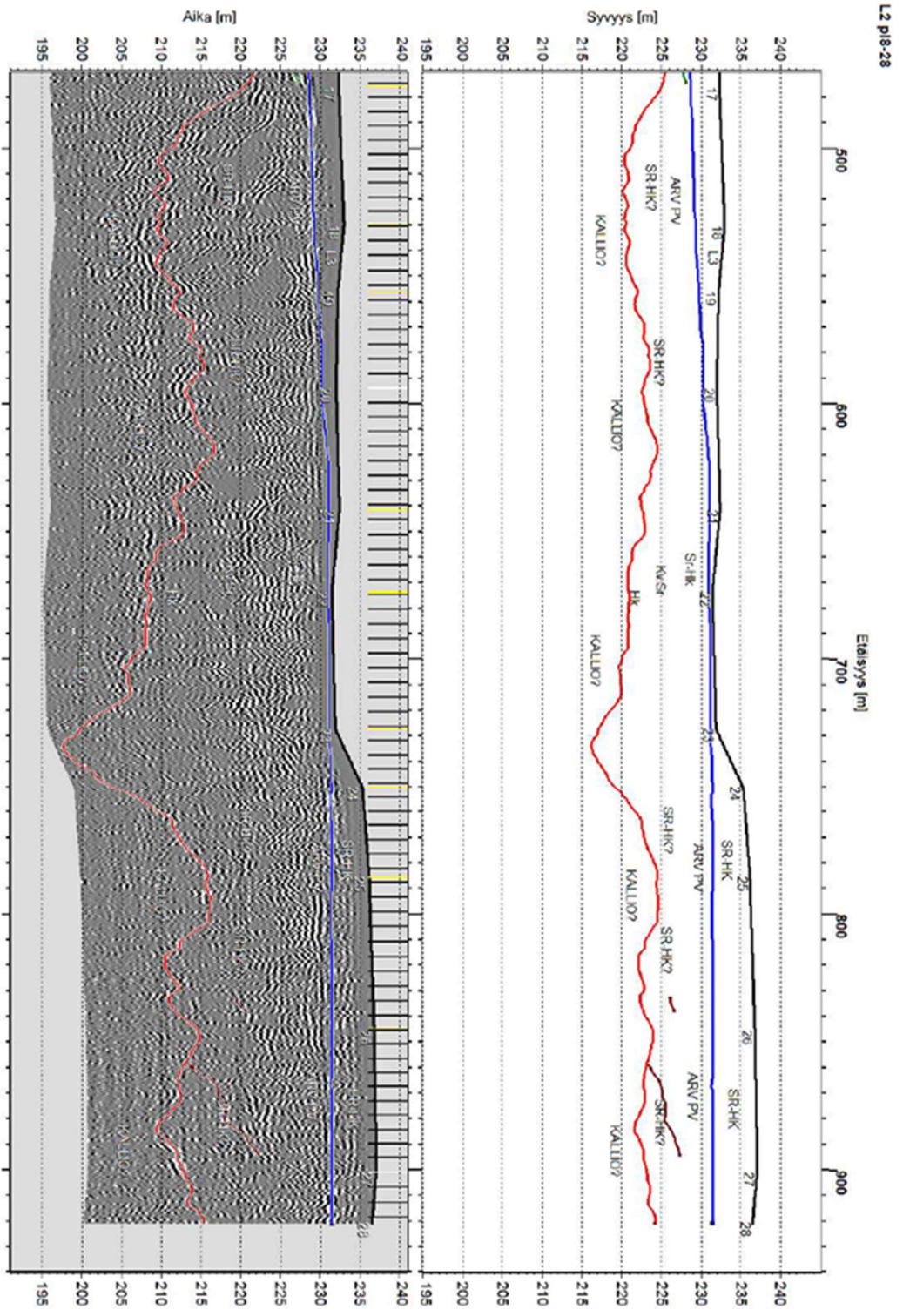


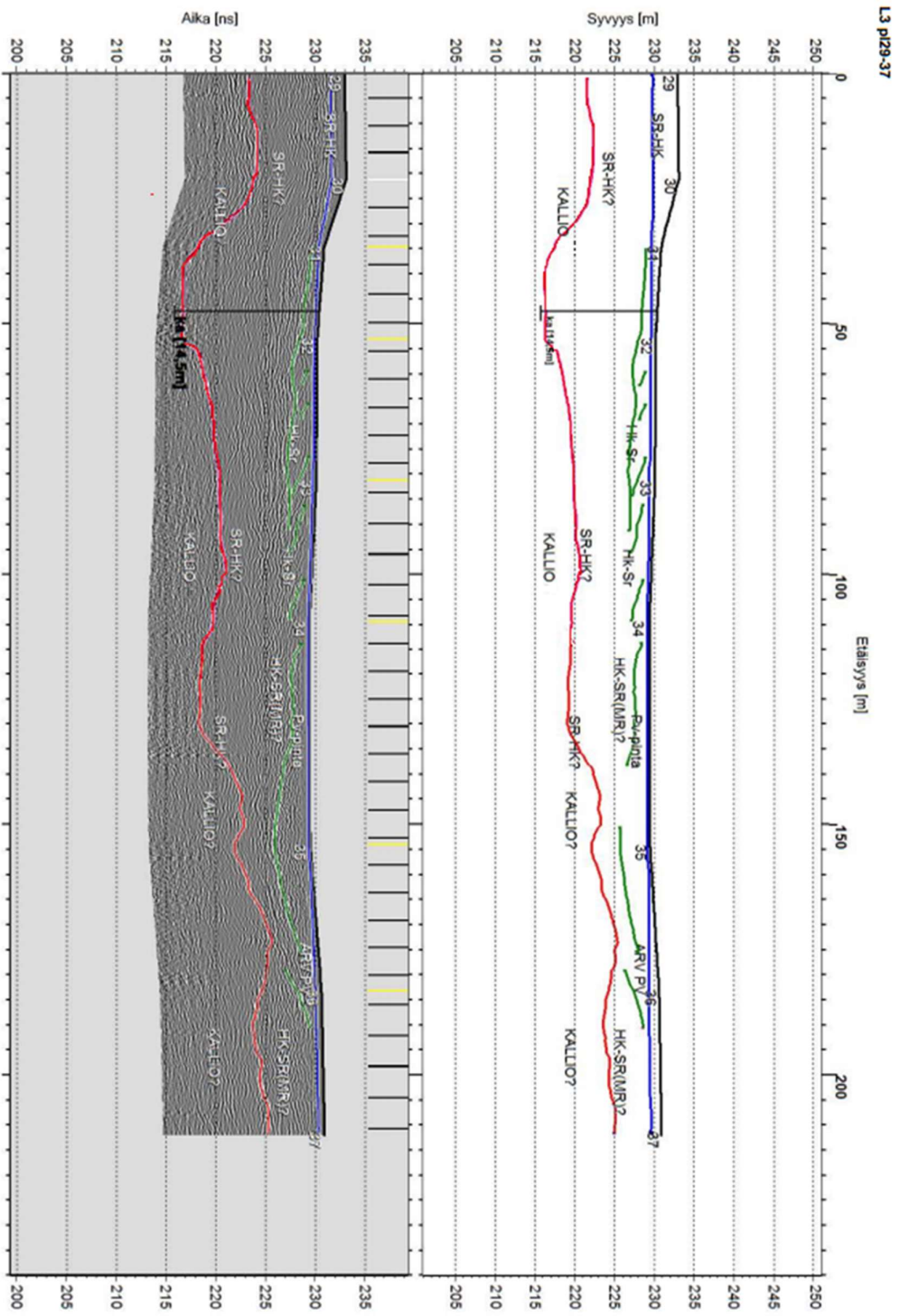
B. Sikahaaro: Linjat 1 – 3

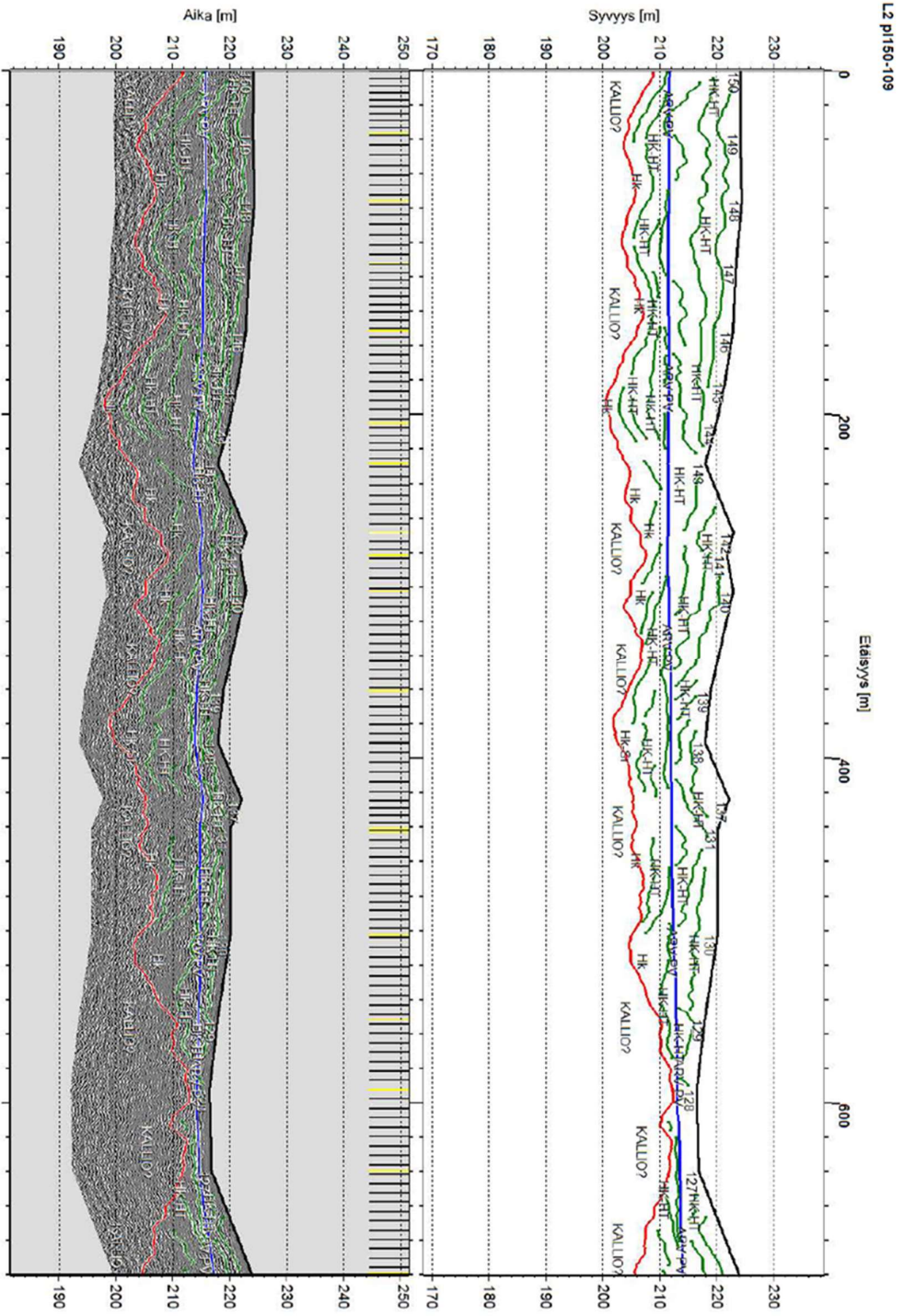


L2 p18-28

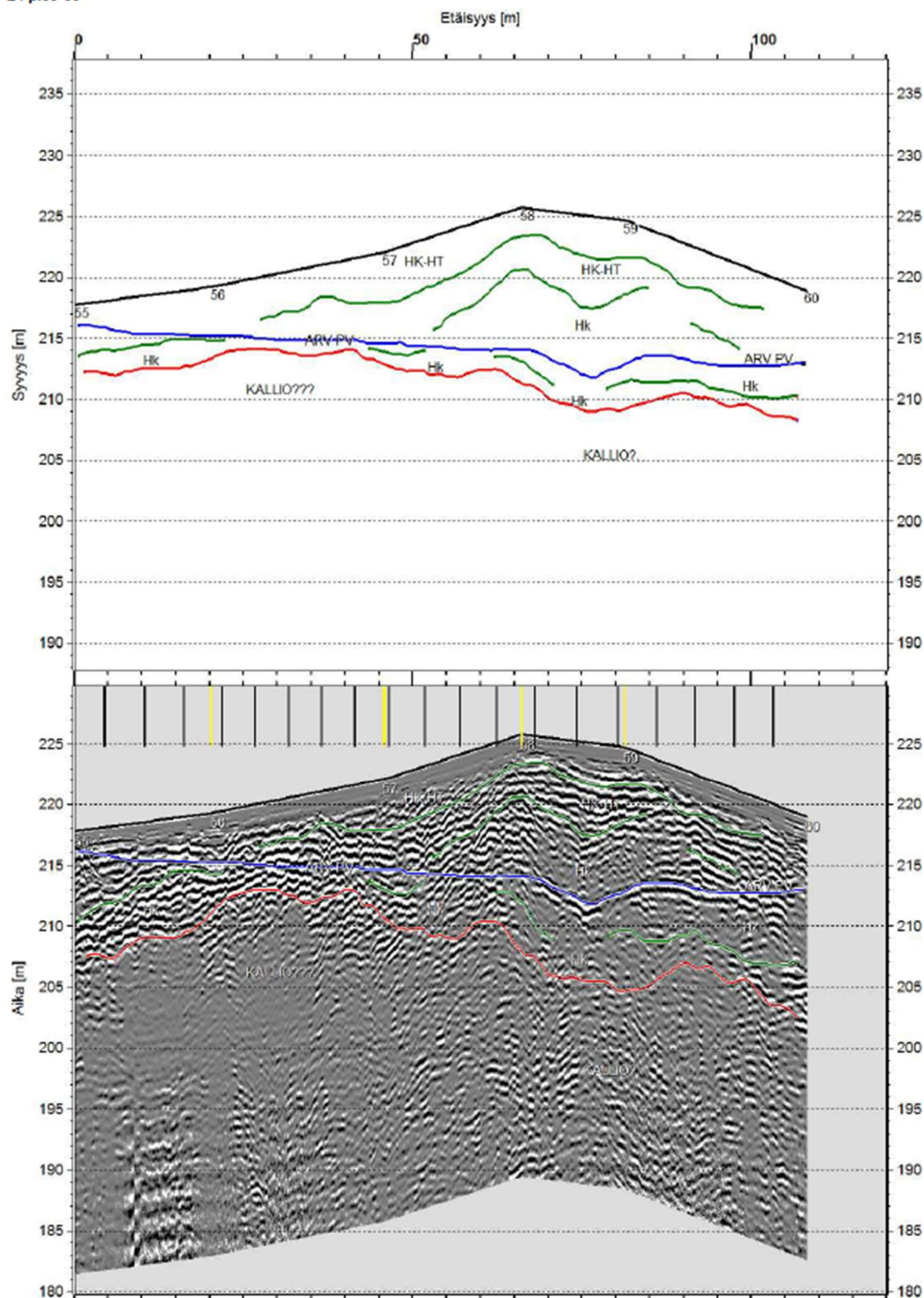




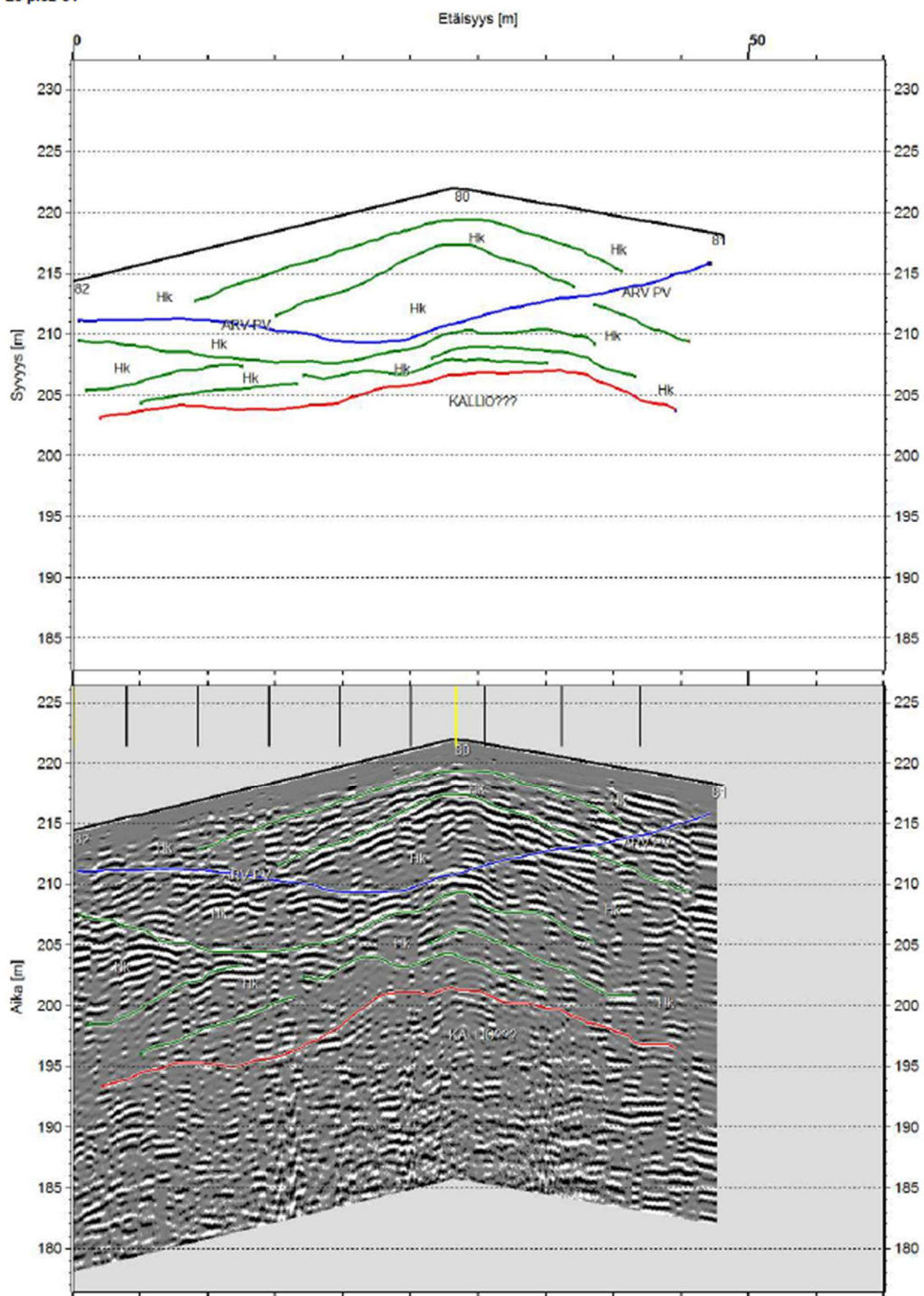




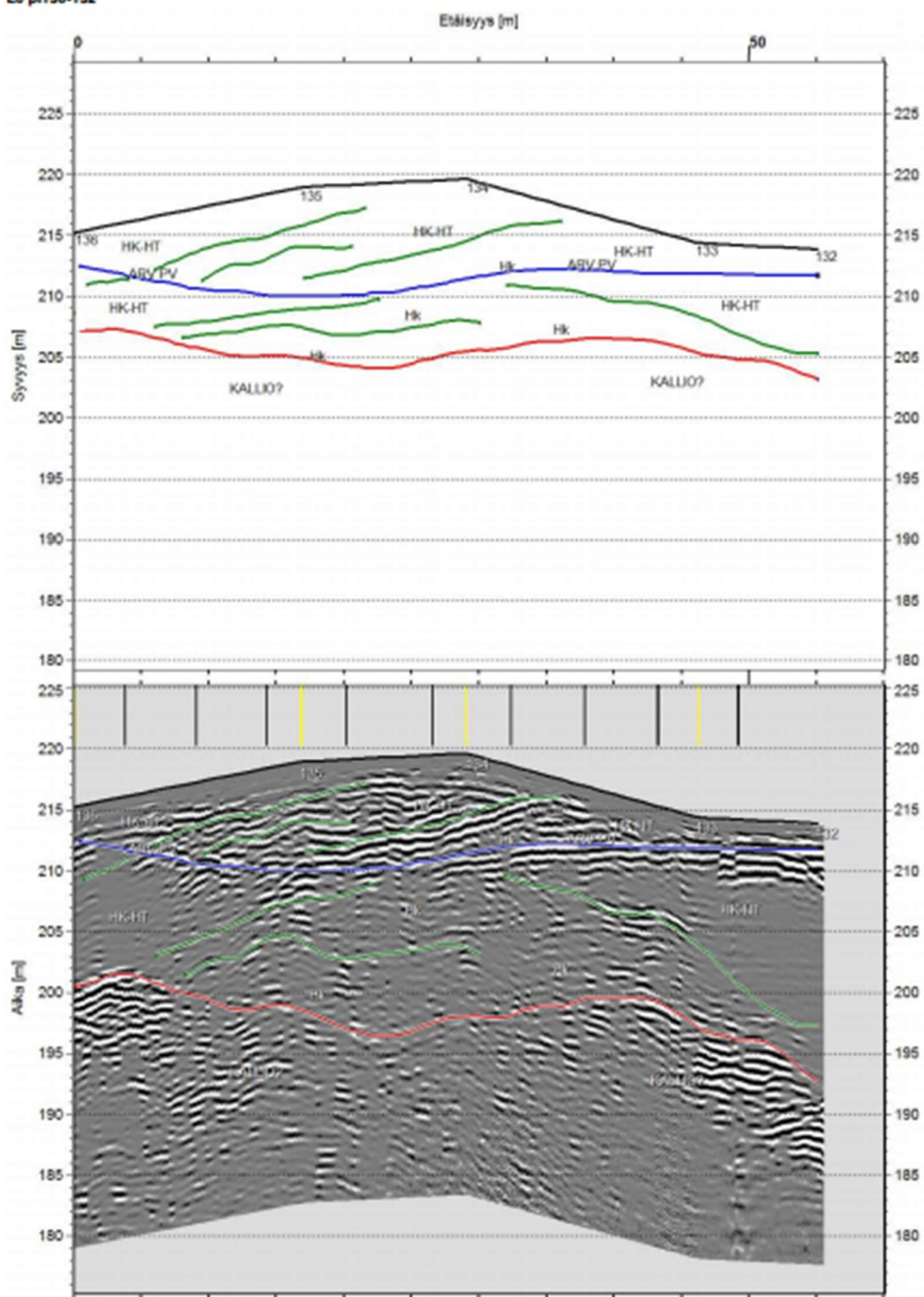
L4 pt55-60



L5 pi82-81



L6 pt136-132



Liite 2. Maaperäkairausten tulokset

Taulukko 1. Kirkkosärkät

Piste K1		
Syvyys (cm)	Maa-aines	Lisätiedot
0 - 340	Sora	Huonosti lajittunutta
340 - 700	Kivinen sora	
700 - ...	Lohkare / Kallio	Näytteenottimessa kivipölyä
Piste K2		
Syvyys (cm)		
0 - 200	K. sora	
200 - 300	K. hiekka	
300 - 340	Kiviä	
340 - 350	Sora	
350 - 600	K. hiekka	
620 - 640	kiviä	
640 - 740	Sora	
740 - 840	Hiekkainen sora	
840 - 860	kiviä	Kulmikkaita
860 - 920	Sora	
920 - ...	Kallio	
Piste K3		
Syvyys (cm)		
0 - 420	Kivinen sora	
420 - 440	Sorainen k. hiekka	
440 - 460	Kivinen sora	
460 - 500	Sorainen k. hiekka	
500 - 580	Kivinen sora	
580 - 660	Kiviä	
660 - 820	Kivinen sora	Hyvin huono lajittuneisuus
820 - 840	Kiviä	
840 - 980	Kivinen sora	Maaputket vääntyivät joten kairaus lopetettiin

Taulukko 2. Sikahaaro

S1		
Syvyys (cm)	Maa-aines	Lisätiedot
0 - 160	Kivinen karkea sora	
160 - 240	K. hiekka	

240 - 350	Kivinen karkea sora	Määritys näytteestä
350 - 370	K. hiekka	Määritys näytteestä
370 - 420	Kivinen karkea sora	Määritys näytteestä
420 - 500	Kiviä	
500 - 540	Hiekka	
540 - 620	Kk. sora	
620 - 660	Kk. hiekka	
660 - 760	Kiviä	
820 - 880	Kivinen sora	
880 - 960	Hiekka	
960 - 1020	Kivinen sora	
1020 - ...	Kallio	Varmistusporaus 1240 cm:n saakka
S2		
Syvyys (cm)		
0 - 120	K. hiekka	
120 - 160	Sora	
160 - 200	Hiekka	
200 - 300	Sora	
300 - 380	K. hiekka	
380 - 430	Sora	
430 - 530	K. hiekka	
530 - 640	Karkea sora kivikerroksilla	Sora on hyvin lajittunut. Kivet ovat kohtalaisesti pyöristyneet.
640 - 860	Kiviä	
860 - 900	Lohkare	
900 - 1450	Sora	Alaspäin hienoneva. Hyvin lajittunut.
1450 - ...	Kallio	Varmistusporaus 1660 cm:n saakka.
S3		
Syvyys (cm)		
0 - 130	Sora	
130 - 220	Kiviä	
220 - 610	Hiekka	Määritys näytteestä. Alaspäin karkeneva: hHk > Hk.
610 - 730	Hk. sora	Määritys näytteestä
730 - 760	Hieno siltti	Määritys näytteestä
760 - ?	Diamiktoni	Määritys näytteestä. Kairaus 850 cm:n saakka.

Taulukko 3. Lauttalammenharju

L1		
Syvyys (cm)	Maa-aines	Lisätiedot
0 - 40	K. hiekka	
40 - 140	Sora	
140 - 280	Hiekka	
280 - 300	Kiviä	
300 -500	Kk. hiekka	Määrittäminen näytteestä.
500 - 530	Sora	Määrittäminen näytteestä.
530 - 540	Kiviä	Määrittäminen näytteestä.
540 - 565	Savidiamiktoni	Määrittäminen näytteestä.
565 - ...	Kallio	Varmistusporaus 800 cm:n syvyyteen
L2		
Syvyys (cm)		
0 - 100	Hiekka	
100 - 200	Sora	
200 - 240	Hiekka	
240 - 400	Sora	
400 - 420	Kivi	
420 - 470	Savidiamiktoni	Määrittäminen näytteestä.
470 - ...	Kallio?	Varmistus ei onnistunut, sillä porakanki katkesi

Taulukko 4. Hanhisuonharju

Piste H1		
Syvyys (cm)	Maa-aines	Lisätiedot
0 - 180	H. hiekka	Pinnalla podsolimaannos
180 - 250	H. sora	
250 - 410	Kk. sora	
410 - 480	Hiekka	
480 - 640	Sora	
640 - 680	Kiviä	
680 - 855	Hk. sora	Määrittäminen näytteestä
855 - ...	Kallio	Varmistusporaus 1050 cm:n syvyydelle