POHJAVESISELVITYKSET VÄLINEENÄ
MAATALOUSELINKEINON KANNATTAVUUDEN EDISTÄMISESSÄ
(POMAKE-HANKE)

TUTKIMUSRAPORTTI, OSA II: POHJAVESIALUEIDEN GEOLOGISEN RAKENTEEN SELVITYS SIPOON NORRKULLAN, NIKUKÄLLAN JA SÖDERKULLAN POHJAVESIALUEILLA



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

UUDENMAAN LIITTO

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS **KUVAILULEHTI**

Päivämäärä / Dnro
30.4.2015

Tekijät	Raportin laji
Friman, Timo Ahonen, Jussi Lonka, Harriet Säävuori, Heikki Huotari-Halkosaari, Taija Valjus, Tuire	Tilaustutkimus
	Toimeksiantaja POMAKE-Hanke

Raportin nimi

Pohjavesiselvitykset välineenä maatalouselinkeinon kannattavuuden edistämisessä
Osa II: Pohjavesialueiden geologisen rakenteen selvitys Sipoon Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueilla.

Tiivistelmä

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Etelä-Suomen yksikkö on tehnyt geologisen rakenneselvityksen Nikukällan ja Söderkullan ensimmäisen luokan pohjavesialueille sekä Norrkullan toisen luokan pohjavesialueelle. Tutkimuksessa selvitettiin kallionpinnan korkokuvaa, pohjavedenpinnan tasoa ja virtaussuuntia sekä harjumuodostuman syntyvaiheita. Tutkimusmenetelminä käytettiin kairauksia, painovoimamittauksia, maatutkaluotauksia, vastusluotausmittauksia ja maastokartoituksia. Lisäksi tehtiin kallioperän ruhje- ja rikkonaisuusselvitys, pehmeikön paksuustulkinta sekä tutkittiin pohjaveden laatua kenttämäärityksin ja laboratorioanalyyseillä.

Mallinnetulla alueella kallionpinnan korkeustaso vaihtelee noin -23 metristä mpa. yli +70 metriin mpy. Keskimäärin kallionpinta on tasolla noin +20 – +30 m mpy., ja suurimmalta osalta korkeustasolla -20 m mpa. – +20 m mpy.

Pohjavesi on korkeimmillaan Söderkullan kartanon läheisyydessä noin +10 – +12 m mpy. Norrkullan pohjavesialueella pohjavesi virtaa etelästä pohjoiseen, eteläosassa pohjavedenpinta on tasolla noin + 2 m mpy. ja pohjoisosassa noin merenpinnan tasossa. Nikukällan pohjavesialueen pohjoisosassa pohjavedenpinta on noin +2 m mpy., josta pinta laskee kohti etelää tasolle + 0,15 m mpy. Söderkullan pohjavesialueella pohjavedenpinta laskee kartanon alueelta, tasolta noin +10 – +12 m mpy., kohti jokea ja edelleen kohti Söderkullan vedenottamoa.

Pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee tutkimusalueella nollasta (kallionpinta pohjavedenpinnan yläpuolella) noin 90 metriin. Pohjavesi on tutkimusalueella keskimäärin vähintään 0 - 10 metrin syvyydessä. Pohjavettä suojaavan maakerroksen paksuus on alle metrin lähinnä kalliopaljastumienjokien läheisyydessä. Suurimmillaan vajovesivyöhykkeen paksuus on 10 – 20 metriä. Irtomaapeitteen kokonaispaksuus vaihtelee tutkimusalueella nollasta yli 90 metriin. Paksuimmat irtomaapeitteet esiintyvät Nikukällan pohjavesialueen keskiosan kallioperän syvässä painanteessa. Tutkimusalueen pehmeikön paksuus vaihtelee nollasta lähes 30 metriin. Vastusluotausmittauksissa havaittiin Norrkullan pohjavesialueella harjukerrostumien jatkuvuus joen itäpuolella. Lisäksi savikolla havaittiin hyvin korkeita sähkönjohtavuuksia. Usean havaintoputken hapeton pohjavesi ja negatiiviset redox-arvot osoittavat savikon alaisen pohjaveden olevan paineellista.

Asiasanat (kohde, menetelmät jne.)

Pohjavesialue, geologinen rakenneselvitys.

Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä)

Etelä-Suomi, Uusimaa, Sipoo, Norrkullan pohjavesialue (ELY-tunnus 0175303), Nikukällan pohjavesialue (ELY-tunnus 0175302) ja Söderkullan pohjavesialue (ELY-tunnus 0175315).

Karttalehdet

Muut tiedot

Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus	
-		Arkistoraportti 25/2015	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Julkisuus
38 s., 48 liitettä.	Suomi	-	Julkinen
Yksikkö ja vastuualue		Hanketunnus	
GTK Etelä-Suomen yksikkö, VA 212		3533018	
Allekirjoitus/nimen selvennys Tuire Valjus		Allekirjoitus/nimen selvennys Jussi Ahonen	

30.4.2015

1 JOHDANTO 2
1.1 Yleistä 2
1.2 Aikaisemmat tutkimukset 4
2 MAASTOTUTKIMUKSET 5
2.1 Maastokartoitus 5
2.2 Havaintoputkiasennukset ja kairaukset 6
2.3 Painovoimamittaukset 7
2.3.1 Menetelmän perusteista 7
2.3.2 Mittaukset ja tulosten tulkinta 8
2.4 Maatutkaluotaukset 8
2.5 Monielektrodivastusluotausmittaukset 10
2.5.1 Menetelmän perusteista 10
2.5.2 Tulkinta 11
2.6 Pehmeikön paksuustulkinta 11
2.7 Pohjavesinäytteenotto ja kenttämittaukset 12
3 ALUEEN GEOLOGISESTA RAKENTEESTA JA HISTORIASTA 13
4 MALLINNUKSET JA VISUALISOINTI 16
5 TULOKSET 18
5.1 Kallioperä 18
5.1.1 Kallioperän rakenne 18
5.1.2 Kallioperän korkokuva 23
5.2 Pohjavesialueet ja -vyöhykkeet 25
5.2.1 Pohjavesialueet 26
5.2.2 Pohjavesivyöhykkeen ja irtomaapeitteen paksuus 28
5.2.3 Pehmeikön paksuus 29
5.3 Monielektrodivastusluotausmittauksien tulosten tarkastelu 30
5.4 Pohjaveden laatuanalyysi- ja kenttämittaustulokset 32
5.4.1 Tulokset 33
5.4.2 Tulosten vertailu aikaisempiin mittaustuloksiin 35
6 YHTEENVETO 36
7 KIRJALLISUULUETTELO 38

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuskartta**,** mittauslinjat

Liite 2. Maaperäkartta

Liite 3. Kalliopinnan korkeus

Liite 4. Pohjaveden pinnankorkeus

Liite 5. Pohjavesivyöhykkeen paksuus

Liite 6. Pohjavedenpinnan yläpuolisen irtomaakerroksen paksuus

Liite 7. Irtomaapeitteen kokonaispaksuus

Liite 8. Pehmeikönpaksuustulkinta

Liitteet 9.1 – 9.23. Painovoimamittausten tulkintalinjat, maapeitteen paksuus

GTK

Liitteet 10.1 – 10.8. Mittaus- ja asennuskortit

Liitteet 11.1 – 11.2. Sipoon kairaustulosten maalajihavainnot

Liitteet 12.1 – 12.5. Monielektrodivastusluotaus profiilit

Liite 13. Pohjaveden laatu

Liite 14. Kallioperän rikkonaisuudesta Inkoon Torpissa ja Sipoon Hindsbyssä

Kansikuva: Kuva Norrkullan pohjavesialueen laitumelta. Kuva: T. Friman, GTK.

GTK

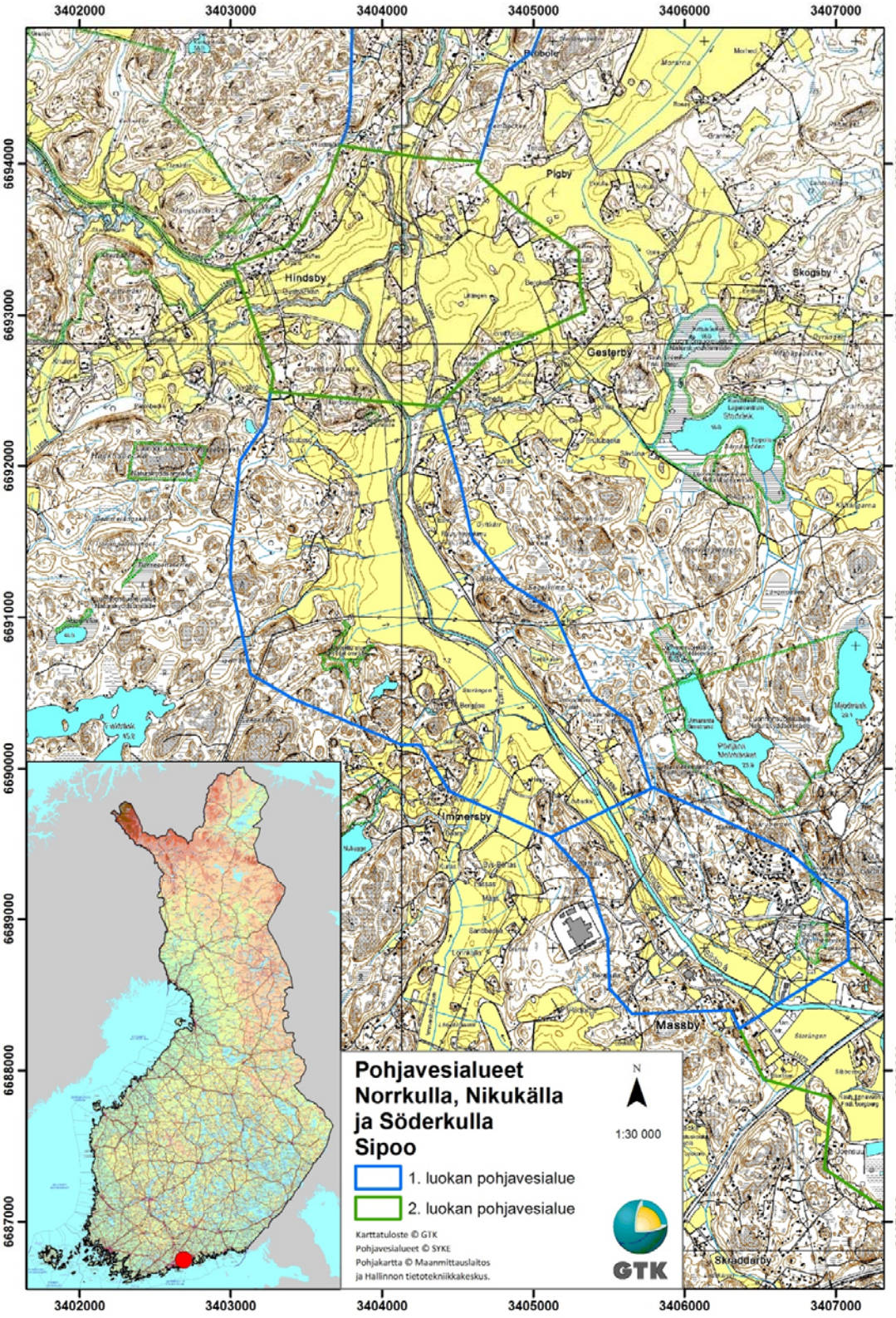
1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Etelä-Suomen yksikkö on tehnyt geologisen rakenneselvityksen Norrkullan (0175303), Nikukällan (0175302) ja Söderkullan (0175315) pohjavesialueille. Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet ovat I luokan pohjavesialueita ja Norrkullan pohjavesialue on II luokan pohjavesialue. Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet sijaitsevat Sipoossa (kuva 1). Hankkeen on rahoittanut EU:n Maaseuturahasto.

GTK:ssa tutkimuksen organisoinnista ja toteutuksesta ovat vastanneet tutkija Timo Friman ja geologi Jussi Ahonen. Pohjavesialueen rakenteen mallinnuksista, niiden tulkinnoista ja tutkimuksen raportoinnista on vastannut tutkija Timo Friman ja painovoimamittauksista sekä niiden tulkinnasta geofyysikko Tuire Valjus. Vastusluotauksista ja niiden tulkinnasta on vastannut geofyysikko Taija Huotari-Halkosaari ja sähköisen lentoaineiston käsittelystä sekä tulkinnasta on vastannut geofyysikko Heikki Säävuori. Maatutkaluotauksista ja niiden tulkinnasta on vastannut maanmittausinsinööri Juha Majaniemi. Maaperäkairauksien valvonnasta vastasi tutkimusassistentti Janne Tranberg. Viljelijöiden haastatteluista ja haastatteluiden tulosten raportoinnista on vastannut Uudenmaan liiton projektikoordinaattori Harriet Lonka.

Tässä raportissa selvitetään tutkimusalueiden kallionpinnan korkokuvaa, pohjavedenpinnan tasoa, harjujen syntyvaiheita sekä maaperäkerrostumien rakenteita ja aineksen vaihtelua kairauksiin, painovoimamittauksiin, maatutkaluotauksiin, vastusluotauksiin, sähköiseen lentoaineistoon ja pohjaveden pintatietoihin perustuen. Kallio- ja pohjavesipintamallit yhdessä maaperämuodostumien syntyvaiheiden tulkinnan kanssa luovat perustan alueen vedenjohtavuuksien ja pohjaveden virtauskuvan hahmottamiselle sekä mm. vedenhankintapaikkojen ja pohjavesialuerajausten määrittelylle. Tiedot palvelevat myös maankäytön suunnittelua ja pohjavedensuojelua sekä pohjavettä uhkaavissa onnettomuustilanteissa tarvittavien toimenpiteiden suorittamista ja ennakoimista. Rakennetutkimuksella tuotettua tietoa voidaan jatkossa hyödyntää myös pohjaveden virtausmallien laadinnassa.



Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti. Kuva: T. Friman, GTK.

GTK

1.2 Aikaisemmat tutkimukset

Tutkimuksen tausta-aineistona on käytetty sekä seuraavia geologisia selvityksiä että pohjaveden hankintaan ja suojeluun liittyviä hydrogeologisia ja teknisiä erillisselvityksiä:

- **Arjas, J. 1995.** Nikukällanin ja Söderkullan pohjavedenottamoiden tarkkailuohjelma. Suunnittelukeskus Oy. Helsinki. 4 s., 5 liitettä.
- **Arjas, J. 1995.** Söderkullan pohjavesialueen likaantumisselvitys, täydentävät tutkimukset. Suunnittelukeskus Oy. Helsinki. 5 s., 9 liitettä.
- **Arjas, J. 1997.** Söderkullan kartanoalueen pohjaveden puhdistaminen, täydentävät tutkimukset. Suunnittelukeskus Oy. Helsinki. 3 s., 8 liitettä.
- **Kielosto, S., Lindroos, P., Mäkilä, M & Herola, E. 1997.** Maaperän peruskartta 1:20 000, Östersundomin kartta-alueen maaperä 2043 07. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 17 s.
- **Kielosto, S., Mäkilä, M. & Herola, E. 1997.** Maaperän peruskartta 1:20 000, Keravan kartta-alueen maaperä 2043 08. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 15 s.
- **Kukkonen, M., Mäkilä, M., Grundström, A. & Herola, E. 1994.** Maaperäkartta 1:20 000, Nickbyn maaperäkartan 2043 11 selitys. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 11 s.
- **Kukkonen, M., Mäkilä, M. & Herola, E. 1996.** Maaperäkartta 1:20 000, Hangelbyn maaperäkartan 2043 10 selitys. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 12 s.
- **Suunnittelukeskus Oy 1997.** Söderkullan kartanoalue maaperän ja pohjaveden kunnostussuunnitelma. Helsinki. 12 s., 19 liitettä.
- **Tikkanen, E. 2001.** Kalliopohjaveden etsintä ja ruhjevyöhykkeen hydrogeologia Sipoon Söderkullan ja Hindsbyn alueella. Julkaisematon opinnäytetyö, Helsingin yliopisto. Helsinki. 60 s., 4 liitettä.
- **Tikkanen, J. & Tikkanen, E. 2000.** Kalliopohjavesitutkimuksia Sipoossa. GTK, arkistoraportti. Espoo. 4 s., 20 liitettä.
- **Tikkanen, J. 2002.** Kalliopohjavesiesiintymän koepumppaus Söderkullassa 2001. GTK, arkistoraportti. Espoo. 4 s., 8 liitettä.
- **Virkkala, K., Härme, M. & Hyyppä, J. 1959.** Suomen geologinen kartta 1:100 000, lehti 2043 Kerava., Maaperäkartan selitys. Helsinki. 99 s.

Kallioperäkarttojen (1:100 000), maaperäkarttojen (1:100 000 ja 1:20 000) ja maastokartan (1:20 000) lisäksi käytettävissä oli pohjavedenpintahavaintoja alueella sijaitsevista pohjaveden tarkkailuputkista.

2 MAASTOTUTKIMUKSET

2.1 Maastokartoitus

Tutkimusalueilla tehdyillä maastokartoituksilla muodostettiin yleiskäsitys tutkimusalueiden geologisista ja hydrogeologisista olosuhteista (kuvat 2 ja 3) sekä kallioperän ruhjeista ja rikkonaisuudesta. Maastokartoituksilla tehtiin geomorfologiset pintahavainnot tutkimusalueiden keskeisimmiltä osilta. Myös pohjavesialueilla sijaitsevista mahdollisista kalliopaljastumista ja niiden laajuudesta tehtiin havaintoja.



Kuva 2. Maastohavainnointia sorakuopassa Norrkullan pohjavesialueella. Kuva: T. Friman, GTK.



Kuva 3. Maapiikillä tehty maalajihavainto (hiekkaa). Kuva: T. Friman, GTK.

2.2 Havaintoputkiasennukset ja kairaukset

Tutkimusalueilla tehtiin toukokuussa 2014 neljä maaperäkairausta ja pohjavedenhavaintoputkiasennusta (kuva 4). Lisäksi syksyllä 2014 tehtiin neljä maaperäkairausta, joista kahteen asennettiin pohjavedenhavaintoputki. Kairauspisteet suunniteltiin painovoimamittausten tukipisteverkkoa ja pohjavedenpinnan havaintoverkkoa silmällä pitäen. Asennuskohteet tarkastettiin maastossa ennen kairausten aloitusta. Kairaukset ja pohjavesiputkien asennukset suoritti tilaustyönä Destia Oy.



Kuva 4. Maapeitteen kairausta kalliovarmistuksella tutkimuspisteellä GTK5-14. Kuva: T. Friman, GTK.

Maaperäkairausta ja kalliovarmistusta tehtiin yhteensä noin 298 metriä. Asennettiin kuusi pohjavesiputkea joiden yhteispituus on noin 187 metriä. Putket varustettiin suositusten mukaisesti (Arjas 2005) lukittavilla suojaputkilla (kuva 5). Halkaisijaltaan 52/60 mm:n kokoinen pohjavesiputki on materiaaliltaan korkeatiheyksistä polyeteeniä (PEH). Pohjavesiputkiin asennettiin siiviläputket pohjavesivyöhykkeeseen. Kairauksen yhteydessä havainnoitiin maaperän vallitseva kerrosjärjestys ja otettiin maanäytteitä. Havaintoputkikortit ja aistinvaraiset maaperänäytteiden maalajimääritykset ovat liitteinä 10.1–10.8, ja yhteenveto kairausten maalajihavainnoista on liitteinä 11.1–11.2. Maalajimäärityksissä on käytetty GEO-luokitusta (Korhonen et al. 1974).



Kuva 5. Keväällä 2014 asennettu pohjavesiputki GTK9-14. Kuva: T. Friman, GTK.

2.3 Painovoimamittaukset

2.3.1 Menetelmän perusteista

Painovoimamittausten avulla voidaan tutkia tiheydeltään ympäristöstä poikkeavien muodostumien paksuutta ja tilavuutta. Koska maaperän tiheys on huomattavasti kallioperän tiheyttä pienempi (tiheysero noin 1 000 kg/m³), voidaan painovoimamittauksia käyttää myös maapeitteen paksuuden arviointiin. Painovoimamenetelmällä ei voida erotella maaperän eri kerroksia tai pohjavedenpinnan tasoa. Muilla tutkimusmenetelmillä tuotettuja maaperä- ja pohjavesitietoja (esim. kairaus, seisminen luotaus ja maatutkaluotaus) voidaan kuitenkin hyödyntää painovoimamittausten tulkinnassa.

Maapeitteen paksuutta määritettäessä painovoimaprofiilit sijoitetaan maastoon siten, että niiden alku- ja loppupäät ovat kalliopaljastumilla tai pisteissä, joissa kallionpinnan tarkka korkeustaso tunnetaan. Lisäksi profiilit saattavat kulkea ristiin toistensa yli. Näin voidaan arvioida painovoimakentän alueellista vaihtelua, jota käytetään maapeitteen paksuustulkinnan perustasona. Kun maa- ja kallioperän välinen tiheysero oletetaan vakioksi ja mittauspisteiden korkeusasema tunnetaan, voidaan painovoima-anomaliasta laskea maapeitteen paksuus. Maaperän todellista paksuutta on kuitenkin tarpeellista kontrolloida riittävän tiheästi esim. kairaamalla, koska sekä kallion tiheydestä riippuva alueellinen painovoimataso että irtomaapeitteen tiheys voivat vaihdella mit-

tauslinjalla ja siten vaikuttaa tulkintatulokseen. Tulos kuvaa yleensä hyvin kallionpinnan alueellisen topografian vaihtelua, vaikka maapeitteen tulkitussa paksuudessa saattaa paikoitellen olla epätarkkuutta. Maapeitteen paksuustulkintaa voidaan tarkistaa ja muuttaa, mikäli painovoimaprofiileille saadaan myöhemmin uutta kallionpintatietoa esimerkiksi uusista kairauksista.

2.3.2 Mittaukset ja tulosten tulkinta

Mitattujen painovoimaprofiilien sijainti on esitetty kartalla liitteessä 1. Painovoimaprofiilit mitattiin 13 linjalta, yhteensä 14,6 km. Linjat mitattiin noin 20 m pistevälein pääasiassa Worden gravimetrillä osin Scintrex SG3-Autograf- gravimetrillä. Alueen läpi virtaa Sipoonjoki, joka jouduttiin ylittämään usealla linjalla. Joen kohdalla mittauslinjoilta puuttuu 2 – 3 mittauspistettä. Maanpinnan tasojen määritykseen käytettiin letkuvaaitusta (LEVA). Painovoimalinjojen päät on sidottu kalliopaljastumiin ja joihinkin kairauspisteisiin. Päätypisteiden korkeustaso on määritetty VRS-GPS -laitteistolla. Topografiaeroista johtuva painovoimatulosten vääristymä on korjattu käyttäen GTK:n 3D-topografiakorjausta, johon poimitaan mittauslinjan ympäristön maanpinnan taso Maanmittauslaitoksen (MML) 10 x 10 m:n digitaalisesta korkeusmallista. Mittaustuloksista on laskettu Bouguer -anomaliat keskitiheydellä 2670 kg/m³. Tulkinnassa on käytetty Interpex MAGIX-XL -tulkintaohjelmaa. Tulkintaohjelmalla etsitään annetun mallin parametreja muuttamalla mitattua painovoimakäyrää parhaiten vastaava laskennallinen käyrä. Paikallisesta painovoima-anomalian vaihtelusta tulkitaan maapeitteen paksuus.

Painovoimamittausten linjakohtaiset tulkinnat on esitetty liitteissä 9.1 – 9.23. Malleissa on käytetty linjan pituudesta riippuen vaaka-akselin mittakaavana 1:5000 tai 1:10 000 ja pystyakselilla 1:1000. Leikkauskuvien y-koordinaatista puuttuu kaistanumero, joka on KKJ3. Korkeusjärjestelmä on N60. Vedenpinnan tasona on käytetty kairanreikien pohjavesitietoja ja luonnon vesipintoja ja se esitetään malleissa vaakaviivana. Pohjavedenpinnan yläpuoliselle, kuivalle maa-ainekselle on tulkinnassa käytetty tiheyttä 1600 kg/m³ ja pohjaveden kyllästämälle maa-ainekselle 1900 kg/m³.

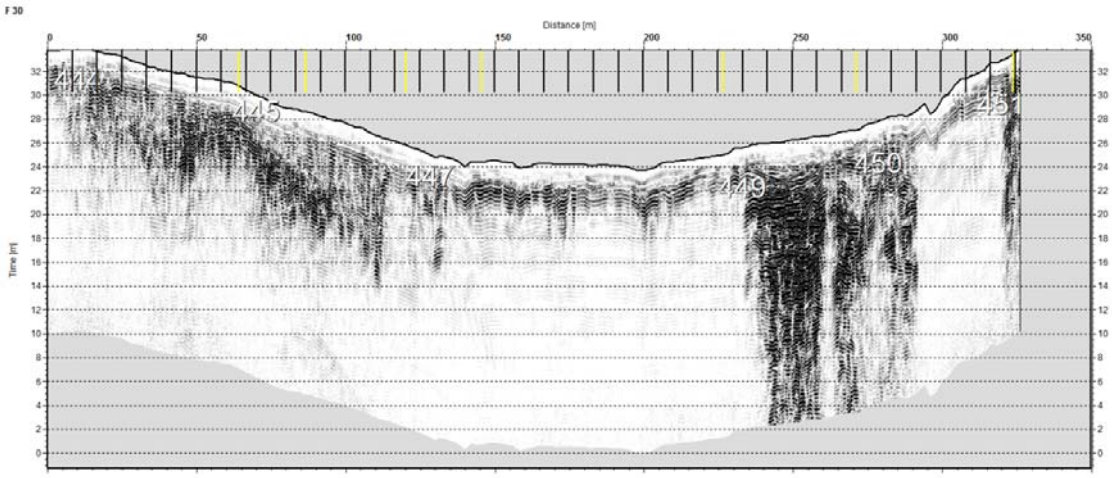
2.4 Maatutkaluotaukset

Maatutkaluotaus on geofysikaalinen tutkimusmenetelmä, joka perustuu sähkömagneettisten pulssien lähettämiseen maaperään ja takaisin heijastuvien pulssien rekisteröintiin. Maatutkaluotauksella saadaan jatkuvaa profiilitietoa maaperän rakenteesta. Menetelmä on parhaimmillaan harjualueilla, jossa sillä saadaan tietoa jopa yli 30 metrin syvyydeltä kallionpinnan korkokuvasta, pohjavedenpinnan tasosta, irtainten maalajien laadusta ja maaperän kerrosten rakenteesta. Näillä tiedoilla on merkittävä osuus alueilla, joilla on vähän maaperäleikkauksia.

Tutkimusalueella luodattiin touko- ja kesäkuussa 2014 GTK:n maatutkakalustolla 15 linjaa (f16-f39). Linjojen yhteispituus on noin 16,3 kilometriä. Luotauksissa käytettiin SIR-3000 maatutkalaitteistoa ja 100 MHz:n antennia (kuva 6), joka on tyypillisimpiä antenneja pohjavesitutkimuksissa. Mittausaikana käytettiin 400 nanosekuntia. Linjojen paikannus maastossa tehtiin GPS–paikantimella. Maatutkaluotausten tuloksia on tässä raportissa hyödynnetty soveltuvin osin kallion- ja pohjavedenpinnan syvyyden määrityksessä ja muodostumien sisäisen rakenteen tulkinnassa (kuva 7).



Kuva 6. Maatutkaluotausta Nikukällan pohjavesialueella. Kuva: T. Friman, GTK.



Kuva 7. Esimerkkikuva maatutkaluotausprofiilista (linja f30). Kuva: J. Majaniemi, GTK.

2.5 Monielektrodivastusluotausmittaukset

2.5.1 Menetelmän perusteista

Monielektrodivastusluotaus (ERT=Electrical Resistivity Tomography) on sähköinen mittausmenetelmä, jossa mittauslinjojen kohdalla maankamaran sähkönjohtavuusvaihteluiden perusteella pyritään määrittämään mm. eri maalajityypit, pohjaveden pinnan taso sekä kallion päällä olevan maapeitteen paksuus. Mittausten tuloksia voidaan yleensä tarkentaa yhdessä kairauksien ja muiden geofysikaalisten menetelmien tulosten kanssa. Maaperän näennäiseen ominaisvastukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. mitattavan maalajin raekoko, vesipitoisuus, kemiallisten epäpuhtauksien määrä vedessä sekä elektronisten johteiden määrä (Peltoniemi 1988). Menetelmän syvyysulottuvuus riippuu mm. käytetystä minimielektrodivälistä, laitteistosta sekä elektrodijärjestelmästä. Mitä huonommin maa-aines johtaa sähköä sitä karkeampaa se on. Maalajin ollessa veden kyllästämä sen sähkönjohtavuus kuitenkin kasvaa. Menetelmä antaa tulokset yleensä ominaisvastuksina, joka on johtavuuden käänteisarvo. On myös huomattava että vastusluotausmenetelmässä erotuskyky heikkenee nopeasti syvyyden kasvaessa – läheltä pintaa sähkönjohtavuusjakauma saadaan määritettyä hyvin tarkasti, syvemmältä kuvautuvat vain riittävän paksut kerrokset.

Monielektrodivastusluotaus tehtiin Sipoossa 4-kanavaisella ABEM Terrameter SAS4000 –laitteella sekä Lund Imaging System –kaapelijärjestelmällä. Elektrodijärjestelmänä eli mittauskonfiguraationa mittauksissa oli monigradienttijärjestelmä, joka on kaapelijärjestelmälle räätälöity mittauskonfiguraatio. Monigradienttijärjestelmä on eräänlainen Schlumberger- ja poolidipolijärjestelmän yhdistelmä. Järjestelmässä virran syöttö tapahtuu kahden ulomman elektrodin avulla ja maankamaraan syntynyttä potentiaalieroa mitataan neljällä elektrodiparilla virtaelektrodien välissä.

Vastusluotaus on aina tehtävä niin, että mittauslinja on suora. Käytännössä mittaus tapahtuu niin, että elektrodijärjestelmä (esimerkiksi 81 kaapeleilla toisiinsa kytkettyä teräspiikkiä) maadoitetaan suoraan linjaan niin että elektrodien välimatka on vakio (tässä tapauksessa 5 metriä) (kuva 8). Mittauksen aikana elektrodeja ei voi liikutella.

Tutkimusalueella mitattiin 6 linjaa syyskuussa 2014. Minimielektrodivälinä oli mittauksissa 5 metriä, jolloin yhdellä neljän kaapelin levityksellä saatiin mitattua 400 m pitkä linja, syvyysulottuvuuden ollessa tällöin lähes 70 m (maksimisyvyysulottuvuus neljällä kaapelilla). Linjaa voidaan aina haluttaessa myös jatkaa siirtämällä ensimmäinen kaapeli viimeiseksi (ns. roll-along –tekniikka). Sipoon mittauksissa linjan 1 pituus oli 900 m, linjojen 2 ja 5 pituus 400 m, linjan 3 pituus 500 m sekä linjojen 4 ja 6 pituus 470 m. Kokonaisuudessa linjojen pituus oli 3140 m. Linjat 1, 3, 4 ja 6 ylittivät 400 metriä, joten niissä tehtiin yksi tai useampi siirto. Linjalla 1 oli 5 kaapelin siirtoa. Osa linjoista ei ole pituudeltaan tasan satoja metrejä, sillä kyseisissä kohdissa ei pystynyt mittaamaan pidempää halutun suuntaista linjaa. Näissä linjoissa ylijäävät elektrodit jätettiin kytkemättä kaapelista. Linjat seurasivat maanpinnan todellista topografiaa, joten GPS:llä mitattu linjojen pituus on hieman lyhyempi kuin niiden todellinen pituus.



Kuva 8. Vastusluotauslinjan mittausta Sipoon Norrkullan pohjavesialueella syyskuussa 2014.
Kuva: T. Friman, GTK.

2.5.2 Tulkinta

Mittaustulosten inversiotulkinta tehtiin Res2DInv-ohjelmalla (Loke & Barker 1996), jossa voidaan ottaa huomioon myös maanpinnan topografia. Kohteesta on olemassa Laser-korkeus aineistoa (LiDAR), joten topografiatiedot poimittiin kyseisestä aineistosta. Topografiatasona on käytetty N60-järjestelmää. Tulkintatulokset saadaan muunnettua xyz-muotoon, jonka jälkeen ne voidaan kuvantaa muilla ohjelmistoilla. Raportin ERT-tulkinnat on visualisoitu Geosoft Oasis Montaj –ohjelmistolla. Mittaustulosten tulkinnan laskeminen perustuu geologisen rakenteen 2D-oletukseen eli oletetaan, että rakenteet jatkuvat samanlaisina mittauslinjaa vastaan kohtisuoraan.

Jos maankamarassa on todellisia 3D-objekteja, saattaa näistä syntyä ns. 3D-efekti tulkintaan. Mittausten ja tulosten tulkinnassa virhelähteitä ovat mm: 3D-objektit, huonot elektrodikontaktit sekä mahdollinen paikannuksen epätarkkuus. Kyseisessä kohteessa 3D-efektit ovat mahdollisia (mittaus havaitsee objektin linjan ulkopuolelta). Elektrodikontaktien kanssa ei ole yleensä ongelmia savikkoalueilla, joten siitä ei aiheudu merkittävää virhettä tulkintoihin. Paikannuksesta johtuva virhe on myös vähäinen helpohkojen olosuhteiden vuoksi (avoin paikka). Tyypillisesti tulkinnoista voidaan selkeästi erottaa toisistaan karkeat (hiekka) ja hienot lajitteet (savi) sekä kallio. Sipoon tulkinnoissa käytettiin referenssitietona pohjavesiputkista ja kairauksista saatuja tietoja sekä painovoimatulkintoja.

2.6 Pehmeikön paksuustulkinta

Tutkittavan alueen pehmeikön paksuustulkinnat perustuvat alueilla suoritettuihin sähkömagneettisiin lentomittauksiin. Mittaukset suoritettiin käyttäen 200 m:n linjaväliä ja n. 40 m:n lentokor-

keutta. Sipoon alueen mittaukset suoritettiin vuonna 1999 itä-länsi-suuntaisesti käyttäen kahta mittaustaajuutta. Mittaukset suoritettiin 2 − 4 kertaa sekunnissa, jolloin pisteväliksi muodostui 10 − 30 m. Mittaustulosten lisäksi rekisteröitiin tarkka lentokorkeus ja koordinaatit.

Paksuustulkinta tehtiin GTK:ssa tehdyllä tulkintaohjelmalla. Sähkömagneettisen kentän mittaustulokseen sisältyy tieto maankamaran johtavuus-paksuus -tulosta. Kun johtavuus tai paksuus tunnetaan, voidaan toinen näistä laskea. Ohjelmassa käytetään maankamaran kerrosmallia, jossa alimman kerroksen muodostaa huonosti sähköä johtava kallioperä. Kallioperän päällä on tyypillisesti hieman paremmin johtava maakerros esimerkiksi moreenia, jonka paksuus ja johtokyky arvioidaan tulkintaa varten. Seuraavana kerroksena on yleensä tulkittava, hyvin johtava pehmeikkö, jonka johtavuutena käytetään alueella maastossa mitattua johtokykyä tai samantyyppiseltä pehmeiköltä aikaisemmin mitattua arvoa. Päällimmäisenä kerroksena on usein ns. kuivakuori, joka on selvästi pohjaveden pinnan alaista pehmeikköä huonommin johtava. Näiden lähtötietojen syöttämisen jälkeen optimoidaan pehmeikön paksuus vastaamaan lentomittauksissa havaittua sähkömagneettista kenttää.

Tulkinnan onnistumisen edellytyksenä on, että lähtötiedot ovat riittävän lähellä todellisia arvoja ja että pehmeikön alla oleva kallioperä on pehmeikköä huonommin sähköä johtavaa. Suomessa kallioperä on usein hyvin resistiivinen eli huonosti sähköä johtava. Pehmeikkötulkinnan kannalta kallioperän ominaisuuksien suhteen hankalimpia alueita ovat grafiittia ja kiisuja sisältävät mustaliuskeet. Tulkintaa vaikeuttavia tekijöitä ovat mittausalueen ns. kulttuurihäiriöt, joita ovat sähkölinjat, rautatiet sekä suuret metalliset rakennelmat. Tulkinnassa täytyy myös huomioida alueen kallioperän magneettisten ominaisuuksien vaikutus sähkömagneettisiin mittaustuloksiin.

Sähkömagneettisiin lentomittauksiin perustuva pehmeikköjen paksuustulkintamenetelmä soveltuu parhaiten laajojen homogeenisten savikoiden keskimääräisen paksuuden arviointiin. Tulkinnan tarkkuutta heikentävät jyrkät muutokset pehmeikön paksuudessa ja johtokyvyssä sekä suurempi etäisyys lähimpään lentolinjaan. Parhaimmillaan tulkinta voi onnistua 1 – 2 metrin tarkkuudella, mutta yleensä pehmeiköt voidaan luokitella vain syvyysluokkiin.

Tulkittu Sipoon alue edustaa rannikonläheisiä Litorinameren savikoita, joiden arvioituna keskimääräisenä johtokykynä on käytetty tulkinnassa 50 mS/m. Sipoon alueen kallioperä on graniittia. Lentomittausaineiston perusteella alueen kallioperässä tulkintaa häiritsevien sähköisten johteiden määrä on vähäinen. Erilaiset kulttuurihäiriöt hankaloittavat kuitenkin tulkintaa tutkimusalueella. Tulkintaa vaikeuttaa erityisesti Sipoonjoen savikkoalueella olevat lukuisat sähkölinjat ja maaston suurempi korkeusvaihtelu.

2.7 Pohjavesinäytteenotto ja kenttämittaukset

Pohjavesiputkista mitattiin pinnanmittauslaitteella vedenpinnan taso ja putken pohjan syvyys. Tämän jälkeen putkeen asennettiin ohjelmoitava Schlumberger 5 baarin CeraDiver paineanturi 8−10 metriä pohjaveden pinnan alapuolelle. Anturilla mitattiin vedenpinnan käyttäytymistä näytteenottopumppauksen ajan. Pumppaus tehtiin akkukäyttöisellä Proactive Supernova 100 näytteenottopumpulla, joka asennettiin kuhunkin putkeen n. 2 metriä paineanturin yläpuolelle. Pumppausvesi johdettiin läpivirtaussäiliön läpi. Tähän säiliöön asennettiin WTW:n Multiline 3430 ja 350i monitoimimittarit mittaamaan veden EC, O_2, pH, Redox ja lämpötila.

Pumppausta jatkettiin niin kauan, että nämä kenttämittausparametrit vakioituivat. Tällöin voitiin arvioida veden pohjavesiputkessa vaihtuneen riittävästi ja mittaustulosten kuvaavan putken lähiympäristön pohjaveden laatua. Pumppauksen lopussa mitattiin CO_2 – pitoisuus kenttätitrauksena ja otettiin 500 ml vesinäyte laboratorion anioni-määrityksiä varten. Anionimääritykset teh-

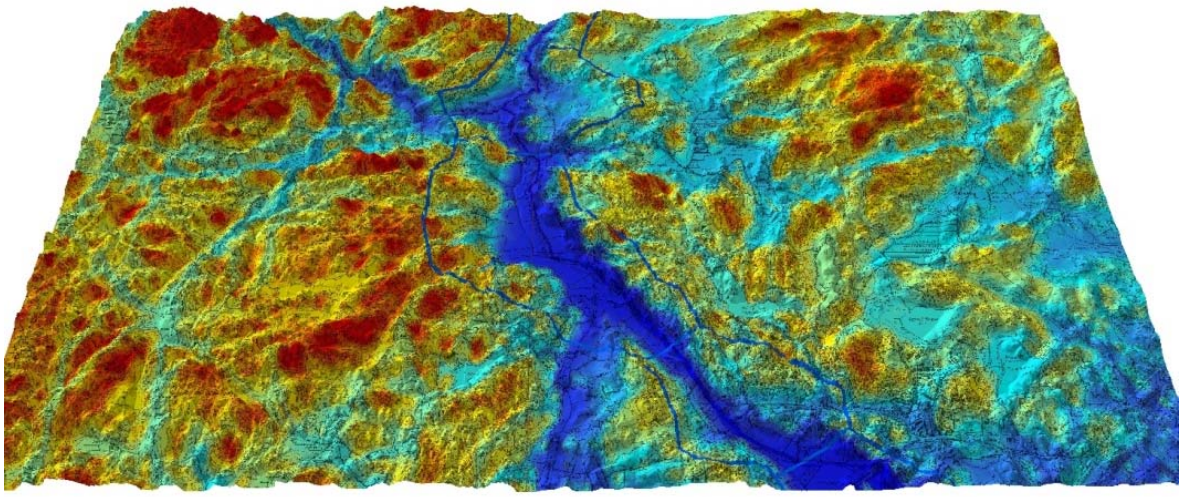
tiin tilaustyönä Labtium Oy:ssa. Näytteenotossa toimittiin GTK:n akreditoidun pohjavesinäytteenotto laatukäsikirjan mukaisesti. Näytteenotto suoritettiin Sipoossa 28.10.− 30.10.2014.

Näytteenottopumppaus kesti kaikissa putkissa 20 − 30 minuuttia teholla 4 − 5 litraa minuutissa, riippuen kuinka syvällä pohjavedenpinta oli putken päästä. Pumpattu vesimäärä oli 80−150 litraa. Sipoon pohjavesiputkissa GTK-6, GTK-8, HP3, HP105 ja HP200 havaittiin pumppauksessa seurauksena pohjavedenpinnan alenema. Näistä voitiin laskea putken vedenjohtokyky ja ominaiskapasiteetti. Pumpun suurin pumppausteho on noin 5,5 litraa minuutissa, silloin kun pohjavedenpinnan taso on 0−3 metrin syvyydellä putken päästä. Pumppausteho pienenee vedenpinnan syvyyden mukaan ja on noin 4 litraa minuutissa kun pohjavedenpinta on 10 m syvyydellä putken päästä. Kun pumppauksen aiheuttama uusi vedenpinnan taso vakioituu riittävän pitkäksi aikaa, voidaan pumppaustuloksista laskea putken vedenjohtokyky (transmissiviteetti) T [m²/s] ja ominaiskapasiteetti (Spesific Capacity) sC [m3/s/m]. Vedenjohtokyvyn laskemiseen käytettiin Dupuit-Thiem pumppausyhtälöstä johdettua pikalaskentaan yksinkertaistettua yhtälöä, jossa T = 1,6 x Q/ Δh paineellisissa pohjavesisysteemeissä ja T = 1,2 x Q/ Δh vapaapintaisissa pohjavesisysteemeissä. Q = pumppausteho [m³/s] ja Δh = vedenpinnan tason muutos [m]. Ominaiskapasiteetti on tasapainossa oleva putken tuotto (=~pumppausteho) /metrillä putkea. Jakamalla T putken aktiivisen osan (usein siiviläosa) pituudella voidaan myös laskea putken ympäristön vedenjohtavuus K [m/s]. Laskentamenetelmät soveltuvat lähinnä saman alueen putkien keskinäiseen vertailuun. Pumppauksen alenema voi antaa myös tietoa putken asemoitumisesta pohjavesisysteemiin.

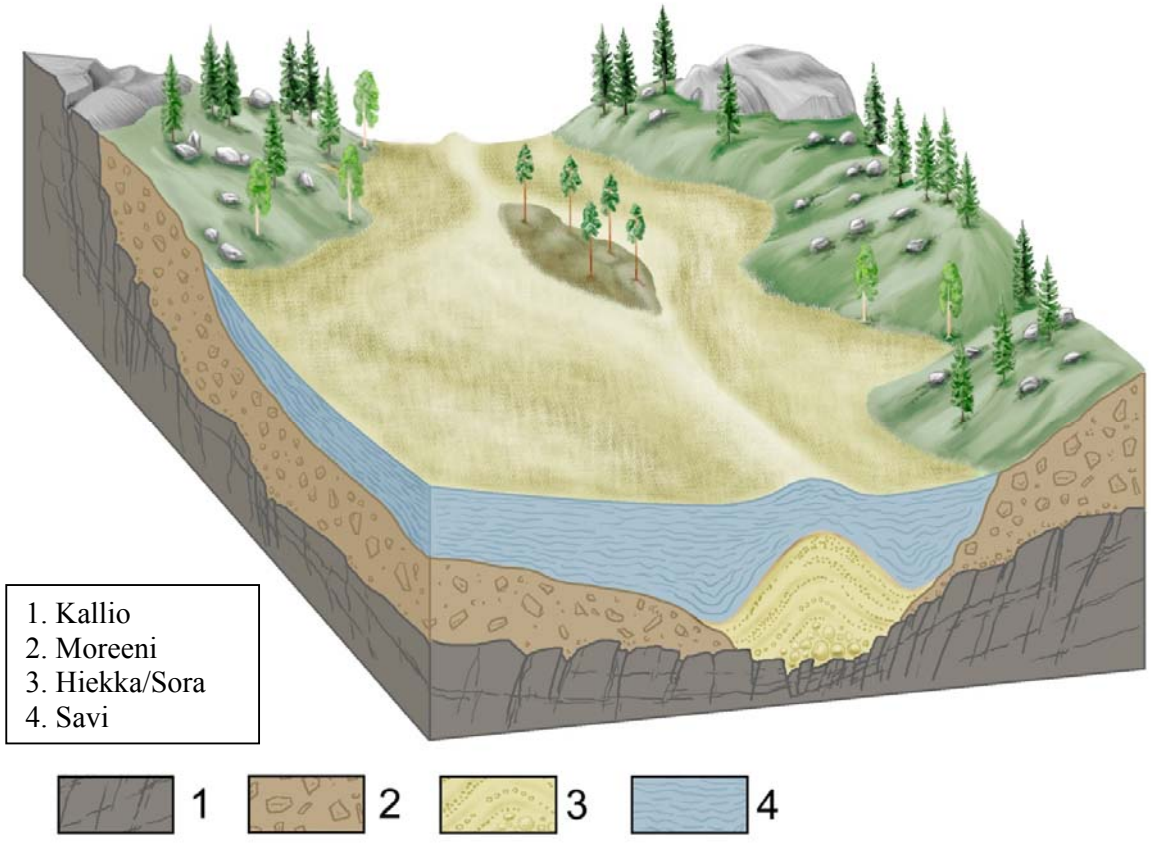
3 ALUEEN GEOLOGISESTA RAKENTEESTA JA HISTORIASTA

Tämä selvitys perustuu alueella aiemmin tehtyihin tutkimuksiin ja selvityksiin sekä geomorfologiseen karttatulkintaan, jota on täydennetty paikalla tehdyillä maastohavainnoilla, kairaustiedoilla, maatutkaluotauksilla ja vastusluotauksilla.

Tutkimusalue kuuluu I Salpausselän eteläpuoliseen vyöhykkeeseen. Tutkimusalueella jäätikön virtaussuunta on ollut keskimäärin 330° eli pohjoisluoteesta. Jäätikön kulutusmuodoista selvimmät merkit ovat silokalliot ja kalliossa esiintyvät uurteet. Sulavan mannerjäätikön reuna perääntyi alueelta noin 11 500 vuotta sitten. Mannerjäätikön edustalla olleen Baltian jääjärven ja sitä seuranneen Yoldiameren aikana alue oli vielä kokonaan veden peittämä. Tällöin veden syvyys oli jopa 100 metriä. Ancylusjärvivaiheen aikana Itämeren altaan vedenpinta oli maankohoamisen seurauksena enää noin 50 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella, tällöin tutkimusalueen korkeimmat kohdat ovat olleet saaristoa. Nykyistä Itämerta edeltäneen Litorinavaiheen alussa noin 7500 vuotta sitten merenpinta oli noin 28 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella. Nykyisin alueen korkeus merenpinnasta vaihtelee muutamasta metristä noin 70 metriin (kuva 9). Alueen moreenit ovat muodostuneet jäätikön aktiivisessa etenemisvaiheessa jäätikön pohjalle. Glasifluviaaliset harjumuodostumat ovat syntyneet jäätikön sulamisvaiheessa, jolloin Sipoonjokilaakson harju on syntynyt jäätikköjoen uomaan. Moreeni- ja harjuaineksen päälle kerrostuneet siltti- ja savikerrostumat (kuva 10) ovat syntyneet jäätikön reunan perääntymisen jälkeisenä syvänveden merivaiheiden aikana, jolloin alueella on vallinnut esimerkiksi savien kannalta suotuisa kerrostumisympäristö (Kukkonen et al. 1994; Virkkala et al.1959).



Kuva 9. Sipoon tutkimusalueen maanpinnan korkeustason vaihtelut. Kuva: T. Friman GTK.



Kuva 10. Havainnepiirros kalliomäkien ympäröimästä savipeitteisestä harjusta.
Kuva: H. Kutvonen, GTK.

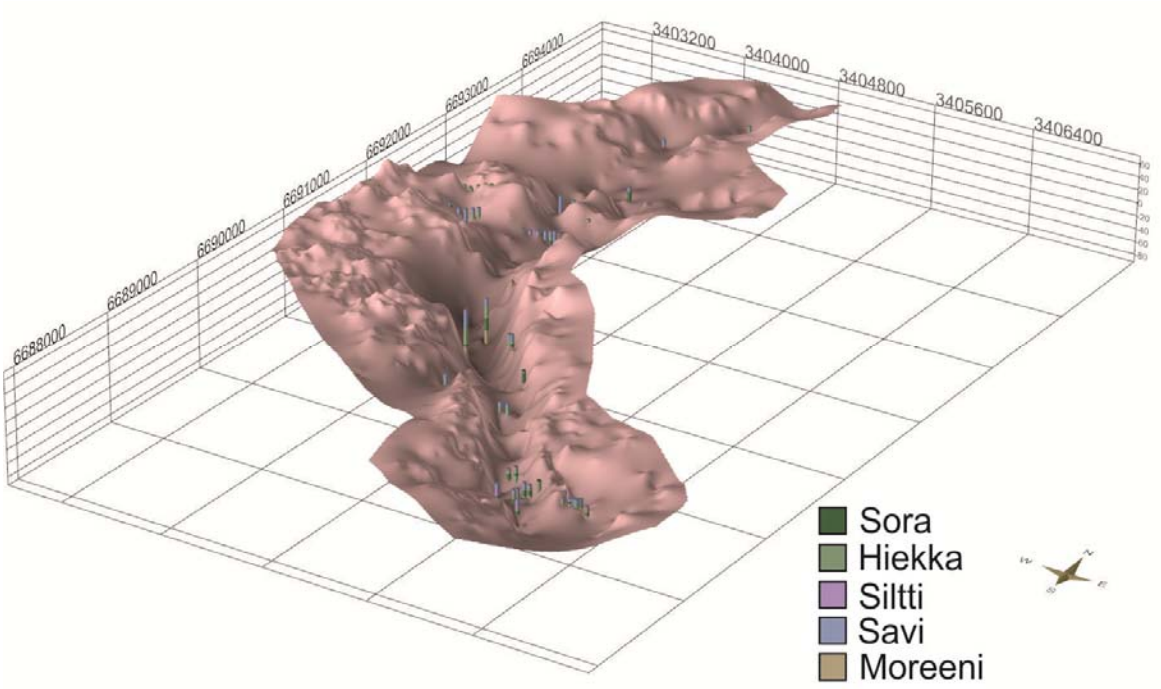
Tutkimusalueella on runsaasti kalliomaita, jotka käsittävät avokalliot ja ohuet, alle metrin paksuiset, kalliota peittävät maakerrokset. Moreenia alueella esiintyy kalliomäkien rinteillä ja painanteissa muutaman metrin paksuisina kerroksina. Karkearakeiset kerrostumat painottuvat Sipoonjoen laaksossa olevaan pohjoisesta eteläkaakkoon kulkevasta harjujaksosta. Harjumuodostuma koostuu erillisistä kummuista ja tasanteista, joita savikot ja kallioalueet erottavat toisistaan. Hiekkamuodostumien yhteydessä tavataan myös rantakerrostumia. Alueen savet ovat Baltian jääjärven, Yoldiameren ja Ancylusjärvivaiheen aikaisia pohjakerrostumia, päällimmäisenä ovat Litorinameren aikana kerrostuneet savet ja myöhemmin muodostuneet liejusavet (Kukkonen et al. 1994).

Tutkimusalueen pohjaveden esiintyminen keskittyy Sipoonjokilaaksoon ja sen kalliorinteisiin, jotka muodostavat yhtenäisen, ympäristöstään vettä keräävän pohjavesialtaan. Vesi kerääntyy kalliorinteiltä ja niiden alaosien rantakerrostumista saven alaisiin, vettä johtaviin hiekkakerrostumiin ja virtaa niissä pääosin etelään (Kukkonen et al. 1994). Tutkimusalueella sijaitsevat kalliopaljastumat edesauttavat pohjaveden muodostumista, vaikka Suomen kivilajit eivät varsinaisesti olekaan vettä johtavia. Kallionpinnalle satava ja kallionpinnalla virtaava vesi joutuu osittain suoraan kallion rakosysteemeihin ja osittain valuu paljastumaa reunustaviin maakerroksiin (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueilla on runsaasti kallioalueita etenkin Sipoonjoen laakson reunoilla, jonne satava vesi päätyy jokilaakson savien alla olevaan harjumuodostumaan (kuva 11).



Kuva 11. Jokilaakson reunoilla kallio nousee voimakkaasti. Kuvan alueella kalliota reunustaa karkeat hiekka- ja sorakerrostumat joiden kautta kalliomäen alueelta virtaava vesi suotautuu pohjavesimuodostumaan. Kuva: T. Friman, GTK.

Tutkimusalueen kalliopinnan vaihteluita ja kairauksien maalajiprofiilit on esitetty kuvassa 12. Kallionpinnan vaihtelut ovat tutkimusalueella hyvin jyrkkäpiirteisiä, suurin osa kairauksista sijoittuu kallioperän syvän ruhjeen läheisyyteen. Tutkimusalueen pohjoisosassa Norrkullan pohjavesialueella Sipoonjoen laaksoon sijoittuvat kairaukset ovat savivaltaisia. Joen itäpuolella kulkee harjun ydinosa, jossa on havaittavissa hiekka- ja sorakerroksia. Nikukällan pohjavesialueella harju kulkee pääosin joen itäpuolella, paikoitellen nojaten laakson itäreunan kallioihin. Jokilaaksossa hiekka- ja sorakerroksia peittävät paksut savikerrokset. Söderkullan pohjavesialueella hiekka- ja sorakerroksien päällä esiintyy savea ja silttiä. Pohjamoreenipeite on varsin ohut lukuun ottamatta kallioperän syvänteitä tutkimusalueen keskiosissa.



Kuva 12. Sipoon tutkimusalueen kallionpinnan vaihtelu ja kairausprofiilit 3D-esityksenä.
Kuva: T. Friman, GTK.

4 MALLINNUKSET JA VISUALISOINTI

Kairauksista, painovoimamittauksista, maatutkaluotauksista, seismisistä luotauksista ja paljastumahavainnoista saadut kallionpinnan tasotiedot yhdistettiin ArcGIS -ohjelmistolla. Aineistosta laskettiin Topogrid-interpolointimenetelmällä mallit tutkimusalueen kallionpinnan korkokuvasta. Pohjavesipintamallit tehtiin edellä mainitulla tavalla hyödyntäen pohjavedenpinnan tasotietoja, joita saatiin mm. havaintoputkista, maatutkaluotauksista, seismisistä luotauksista ja luonnonvesipinnoista. Viimeksi mainituissa luonnonvesipinnoissa, kuten lähteissä, soilla, vesijätöillä ja vesistöissä (kuva 13) pohjavedenpinta on samalla tasolla maanpinnan kanssa (Korkka-Niemi & Salonen 1996, Salonen et al. 2002). Pinta- ja pohjavesien korkeuserot ovat sitä vähäisemmät, mitä johtavampaa maaperä on. Useimmissa luonnontilaisissa olosuhteissa pohjavesi virtaa vesistöön (Salonen et al. 2002), vaikka päinvastainenkin tilanne on mahdollista (Mälkki 1999).



Kuva 13. Sipoonjoki Nikukällan pohjavesialueen eteläosassa, kuvaussuunta etelään.

Kuva T. Friman, GTK.

Muodostuvan pohjaveden määrää voivat lisätä ympäröivistä vesistöistä tai suoalueilta imeytyvät pintavedet (Mäkinen 2005). Sadannan lisäksi pohjavettä muodostuu myös pintavesistä rantaimeytymisen avulla. Korkeimmillaan pohjaveden pinta on lumen sulamisen aikaan, mutta se laskee kesällä suuren haihdunnan vuoksi. Syyssateiden aikana pinta jälleen nousee, kun taas talvella sateen tullessa lumena ja roudan estäessä veden imeytymisen pinta laskee alimmalle tasolleen (Salonen et al. 2002).

Pohjavedellä kyllästyneen maapeitteen paksuus on laskettu pohjavesi- ja kallionpintamallien erotuksena. Pohjavedenpinnan yläpuolisen irtomaapeitteen paksuus saatiin tutkimusalueen maanpinnan korkeusmallin ja pohjavedenpintamallin erotuksesta. Irtomaapeitteen kokonaispaksuus on saatu maanpintamallin ja kallionpintamallin erotuksena. Mallien interpoloinnin ulottuvuutena tunnetuilta tasopisteiltä on käytetty kallionpinnan osalta 150 metriä ja pohjavesipinnan osalta 300 metriä. Saadut pintamallit on visualisoitu ArcGIS-ohjelmistolla. Tutkimusalueen mallinnukset ovat liitteissä 3 – 7. Pohjavedellä kyllästyneen maapeitteen paksuus voitiin visualisoida ainoastaan niillä alueilla, joilta oli käytettävissä sekä kallionpinnan että pohjavedenpinnan mallit.

Pintamalleja tarkasteltaessa on aina huomioitava mittaus- ja mallinnusmenetelmien rajoitukset. Kallionpinnan korkeustaso on varmasti selvillä vain kairauspisteissä ja avokallioilla. Painovoimalinjojen mittauspisteille tulkitut syvyydet antavat ainoastaan yleiskuvan kallionpinnan korkeustasosta. Mallinnusohjelmisto tasoittaa interpoloimalla tunnettujen ja tulkittujen kallionpintapisteiden välit. Tästä johtuen interpoloidussa mallissa käytettyjen tasopisteiden välialueilla voi olla laajojakin kalliokohoumia tai -painanteita, joita ei pintamallissa voida havaita.

Kallionpintamallin reuna-alueilla myös painovoimalinjojen ja kairauspisteiden puutteesta johtuva kalliopaljastumien korkeustasojen ylikorostuminen saattaa aiheuttaa mallin vääristymistä. Pohjavesialuerajojen sisäpuolella mallin tarkkuus on kuitenkin melko hyvä.

GTK

Pohjavedenpintojen havaintoja oli koko tutkimusalueelta varsin runsaasti pohjavesiputkien ja lukuisten luonnonvesipintojen ansiosta. Pohjavedenpinnan mallinnus perustuu pohjavesiputkista, maatutkaluotauksista, seismisistä luotauksista ja luonnonvesipinnoista saatuihin pohjavedenpinnan korkeustietoihin. Pohjavedenpinnan laskentamallien voidaan olettaa pitävän varsin hyvin paikkansa, ja yleiskuvan pohjaveden virtauksesta voi muodostaa jo kolmella pohjavedenpinnan havainnolla (Korkka-Niemi & Salonen 1996).

Kalliopinnan taso saatiin tutkimusalueen ydinosassa selville melko kattavasti eri kairaustietojen ja painovoimamittauslinjaston ansiosta. Maanpintaan asti esiin tulevia kallioalueita ja pienempialaisia kalliopaljastumia on pohjavesialueilla hyvin runsaasti etenkin Sipoonjokilaaksoa ympäröivillä alueilla. Tutkimusalueen keskeisimmissä osissa kallionpintatiedot perustuvat suurilta osin painovoimamittauksista saatujen tietojen tulkintaan ja osin myös kairaustietoihin. Näillä alueilla laskentamalli on melko luotettava.

Pohjavesialueiden 3D-visualisoinnit on tehty käyttäen ArcGis-ohjelmistolla tehtyjä maanpinnan-, kallionpinnan- ja pohjavedenpinnanmalleja, jotka on muunnettu ArcGis -ohjelmistolla ASCII-muotoon ja tuotu Subsurface Viewer 3D-ohjelmistoon. Visualisoinnit on tehty Subsurface Viewer -ohjelmistolla ja kuvia on muokattu kuvankäsittelyohjelmalla. 3D-kuvien kairaustiedot on tuotu Subsurface Viewer 3D-ohjelmistoon txt. -muotoisina bid. ja blg. tiedostoina ja visualisoitu txt. -muotoisen gleg. -tiedoston avulla.

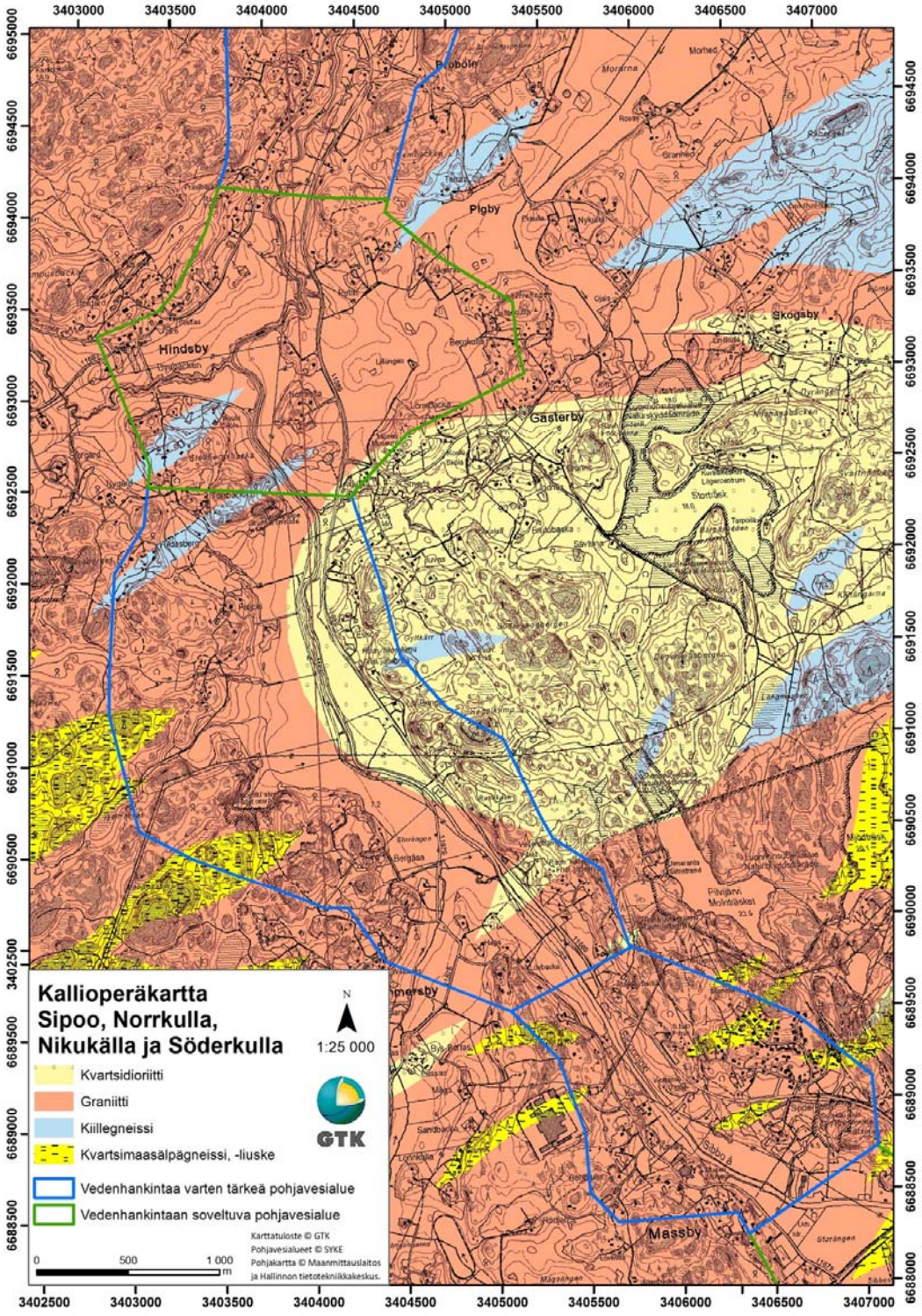
5 TULOKSET

5.1 Kallioperä

Tulkinnan mukaan kallionpinnan vaihtelut ovat jyrkkäpiirteisiä ja maapeitteen paksuusvaihtelut ovat erittäin suuria (kuva 12). Alueen keskivaiheilla kallion pinta laskee jyrkästi. Maapeitteet ovat tällä alueella lähes 100 m paksuisia. Pohjaveden taso ja peltoalueilla myös maanpinta on lähellä meren pintaa, joten pohjaveden kyllästämää maa-ainesta on paljon. Aivan alueen eteläisimmässä päässä on kalliokynnys, jonka itäpuolella pohjavedenpinta on n. 10 metriä korkeammalla kuin varsinaisella tutkimusalueella. Tämä yhtenäinen kallioalue erottuu painovoimalinjoilla 22, 23 ja 2. Linjalla 2 kallio nousee ylös keskellä linjaa ja sen molemmin puolin näkyvät eri tasoilla olevat, kairauksin todetut pohjaveden pinnat. Painovoimamittausten tulkintaa tarkennettiin lisäämällä kairauksista, maastokäynneistä ja muista lähteistä saadut kallionpinnan tiedot. Näiden tietojen perusteella mallinnettiin kallionpinnan interpoloitu korkokuva, joka on liitteen 3 väripintakartassa.

5.1.1 Kallioperän rakenne

Sipoon tutkimusalueen kallioperän rakenteellinen kehitys on vastaavanlainen kuin Inkoon alueella, mutta rakenne poikkeaa Inkoon alueelle luonteenomaisesta vaaka-asentoisesta rakenteesta selvästi pystympänä. Alueen syväkiviä, jotka ovat koostumukseltaan tonaliittisia, granodioriittisia tai raekooltaan vaihtelevia graniitteja, sekä migmatiittisia gneissejä (Kuva 14), luonnehtii ENE-WSW-suuntainen rakenteiden ja kivilajien kulkusuunta. Alueen kivilajit ovat voimakkaasti graniittisen neosomiaineksen migmatisoimia ja useimmiten primääreihin kerrostumisolosuhteisiin viittaavat rakenteet ovat pääosin hävinneet.



Kuva 14. Sipoon tutkimusalueen kallioperäkartta. Kuva T. Friman, GTK.

GTK

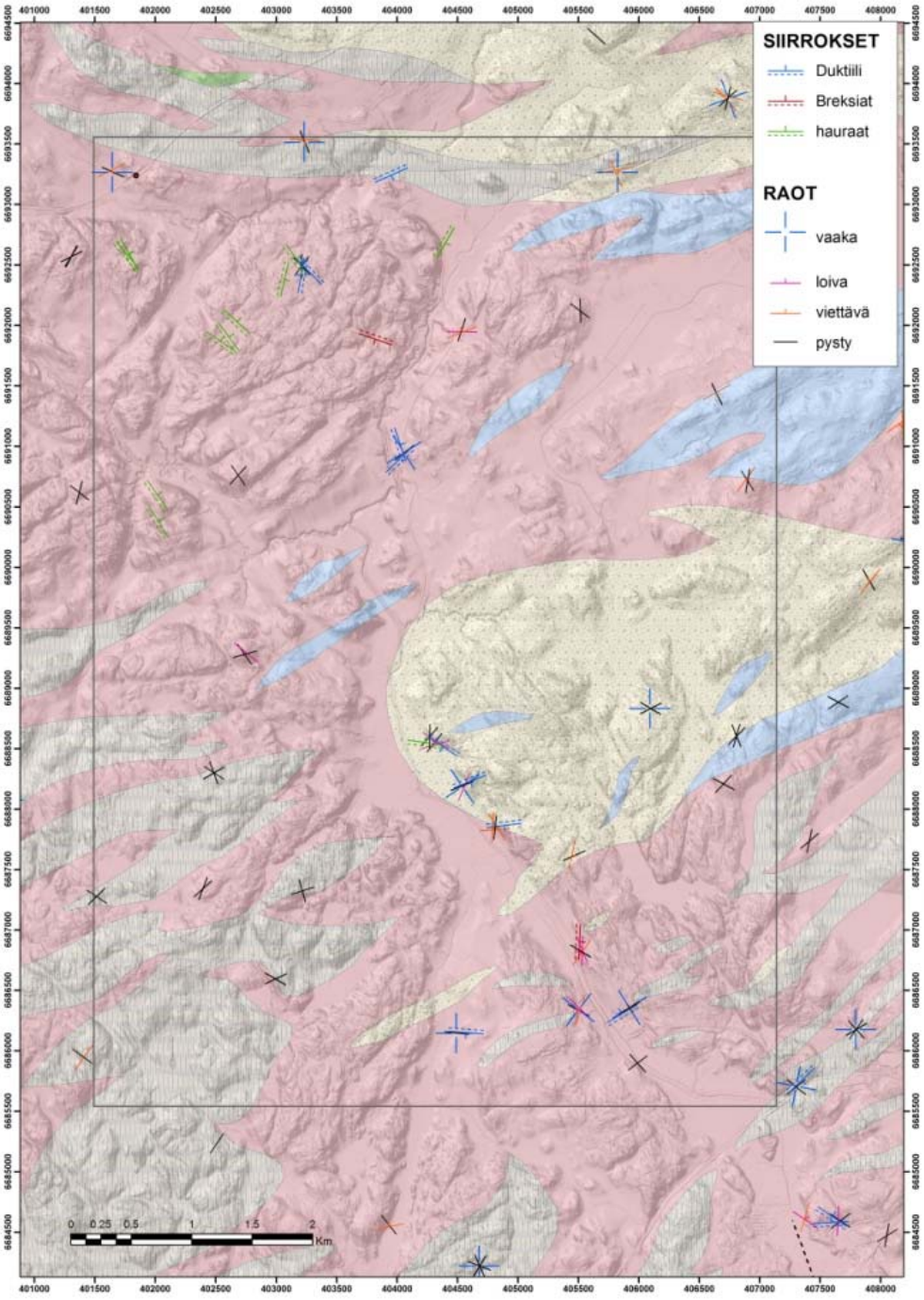
Loiva-asentoinen poimuinterferrenssirakenne on Sipoon alueella puristettu tiukemmiksi litistyneiksi poimuiksi. Silloin kun ko. interferenssirakenteissa on tonaliittinen antiformin ydin, on rakenne säilynyt kuitenkin avoimempana - näin on tilanne varsinkin alueen pohjoisosassa. Alueen siirrokset on luokiteltu sekä geologisesti syntyperänsä perusteella että rakennusgeologisesti arvioiden niiden laatua teknisessä mielessä (Wennerström et al. 2008). Heikkousvyöhykeluokitus tehtiin RG-luokitellun (Rakennusgeologinen luokitus) pääkaupunkiseudun tunneliaineiston perusteella. Näin ollen rakennettavuusluokitus on vain suuntaa antava Sipoon alueella.

Suurin osa siirroksista Sipoon alueella on hauraita (kuva 15). Yleisin suunta on NW-SE, eli varsinkin alueen pohjoisosassa ne seuraavat laaksopainanteen suuntaa. Nämä ovat nuorimpia siirroksia ja ne leikkaavat alueen yleistä ENE-WSW-suuntaista liuskeisuutta.

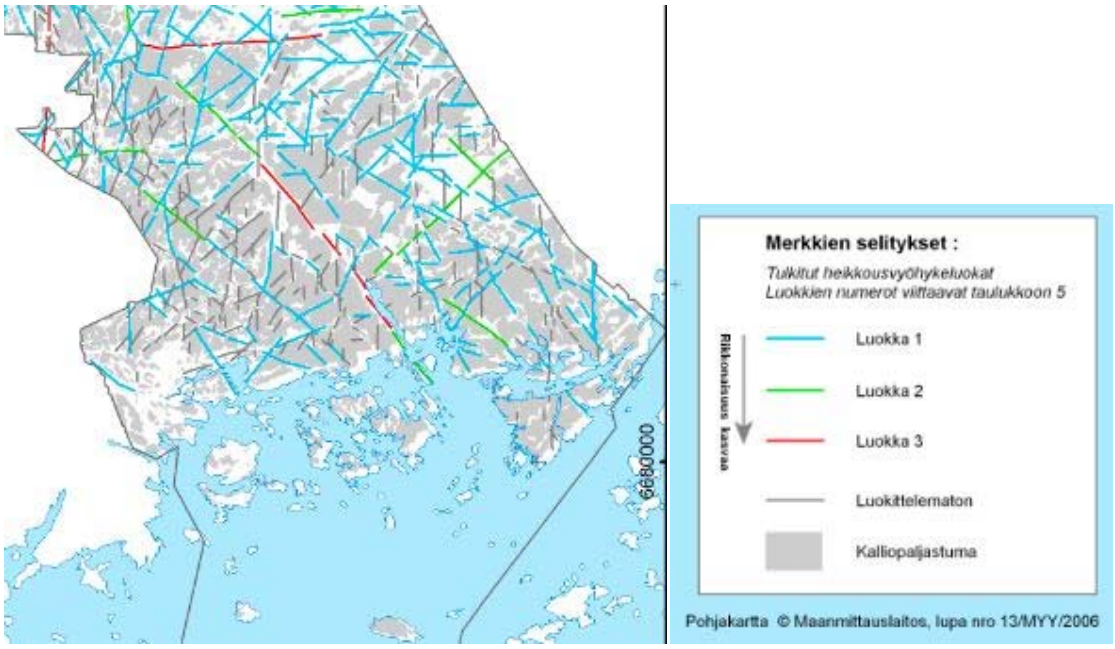
Rikkonaisuusvyöhykkeiden muodostamat painanteet ovat useimmiten n. kilometrin pituisia. Joskus hauraat siirrokset muodostavat peräkkäisiä parvia kallioperään, jolloin rapautumisen vaikutuksesta on syntynyt suuriakin laaksoja. Alueen rikkonaisin vyöhyke on tulkittu laakson kohdalle NW-SE-suuntaan (kuvat 15 ja 16). Vyöhykkeessä on usein useita siirroksia sekä samansuuntaista rakoilua. Sitä leikkaavat NE-SW-suuntaiset vähemmän rikkonaiset vyöhykkeet. Myös N-S-suuntaisia, ohuita rikkonaisuusvyöhykkeitä on arvioitu olevan alueella. Hauraat siirrosrakenteet ovat enimmäkseen erodoituneet ja viime jääkauden aikaiset kulutusprosessit suosivat nimenomaan NW-SE-suuntaisia painanteita. Kuitenkin joitakin breksioita ja siirrosbreksioita on näkyvissä ja erityisesti tieleikkaukset paljastavat joskus punertavia haarniskapintoja. Myös kvartsitäytteisiä avoimia rakoja esiintyy NW-SE-suuntaisina.

Pystymmät duktiilit rakenteet Sipoon alueella vaikuttavat merkittävästi myös rakoilun asemaan; aluetta luonnehtivat pystyt rakoilurakenteet. Vaakaraot ovat yleensä, varsinkin lähellä maan pintaa, avoimia ja täten hyviä veden kulkukanavia.

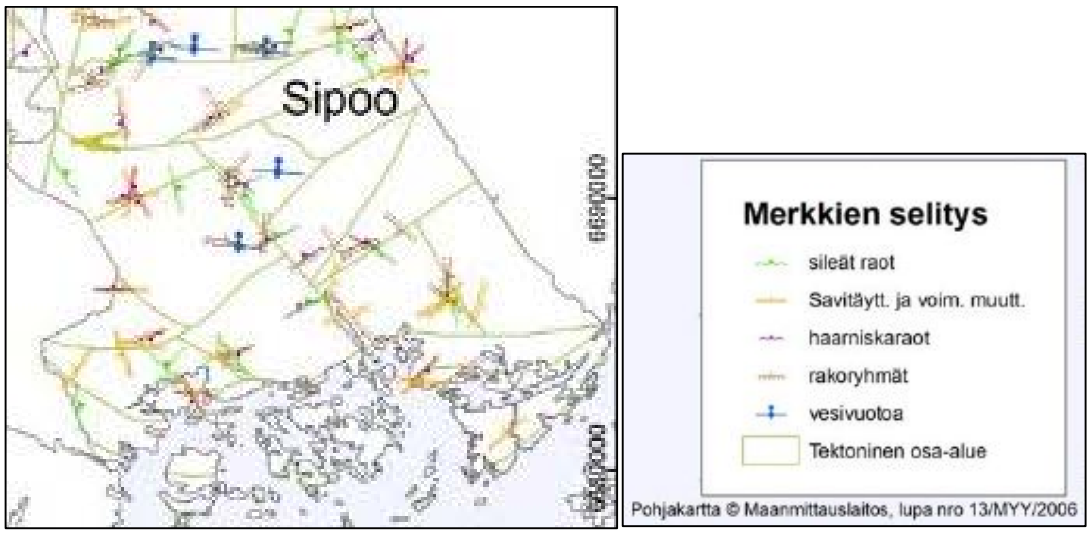
Rakoiluaineistossa pystyt raot ovat selkeästi voimakkaimmin edustettuina (kuva 17). Vaakarakoja esiintyy laaksopainanteen reunoilla. Sipoon eteläosassa tiheää rakoilua esiintyy selkeimmin liuskeisuuden yhteydessä. Sileäpintaisia rakoja ja mahdollisesti vettä johtavia rakovyöhykkeitä on laaksopainanteen reunoilla laakson suuntaisesti ja sitä kohtisuoraan suuntaan leikkaavasti. Myös raoissa tavatut vesivuodot on esitetty kuvassa 17.



Kuva 15. Sipoon alueen siirros- ja rakohavainnot. Kuva: M. Pajunen, GTK.



Kuva 16. Sipoon alueen tulkitut heikkousvyöhykkeet. Kuva: M. Pajunen, GTK.



Kuva 17. Rakotyypit Sipoon alueella. Kuva: M. Pajunen, GTK.

GTK

5.1.2 Kallioperän korkokuva

Tutkimusalueen kallionpinnan interpoloitu korkokuva on esitetty liitteen 3 väripintakartassa. Sen pohjana käytetty, painovoimamittausten perusteella tulkittu kallionpintatasokartta on kuvassa 18. Kuvassa 19 on 3D- esitys kallionpinnan korkokuvasta. Mallinnetulla alueella kallionpinnan korkeustaso vaihtelee noin -90 metristä mpa. yli +70 metriin mpy. Keskimäärin kallionpinta on tasolla noin +20 m mpa. – +30 m mpy., ja suurimmalta osalta korkeustasolla -20 m mpa. – +20 m mpy.

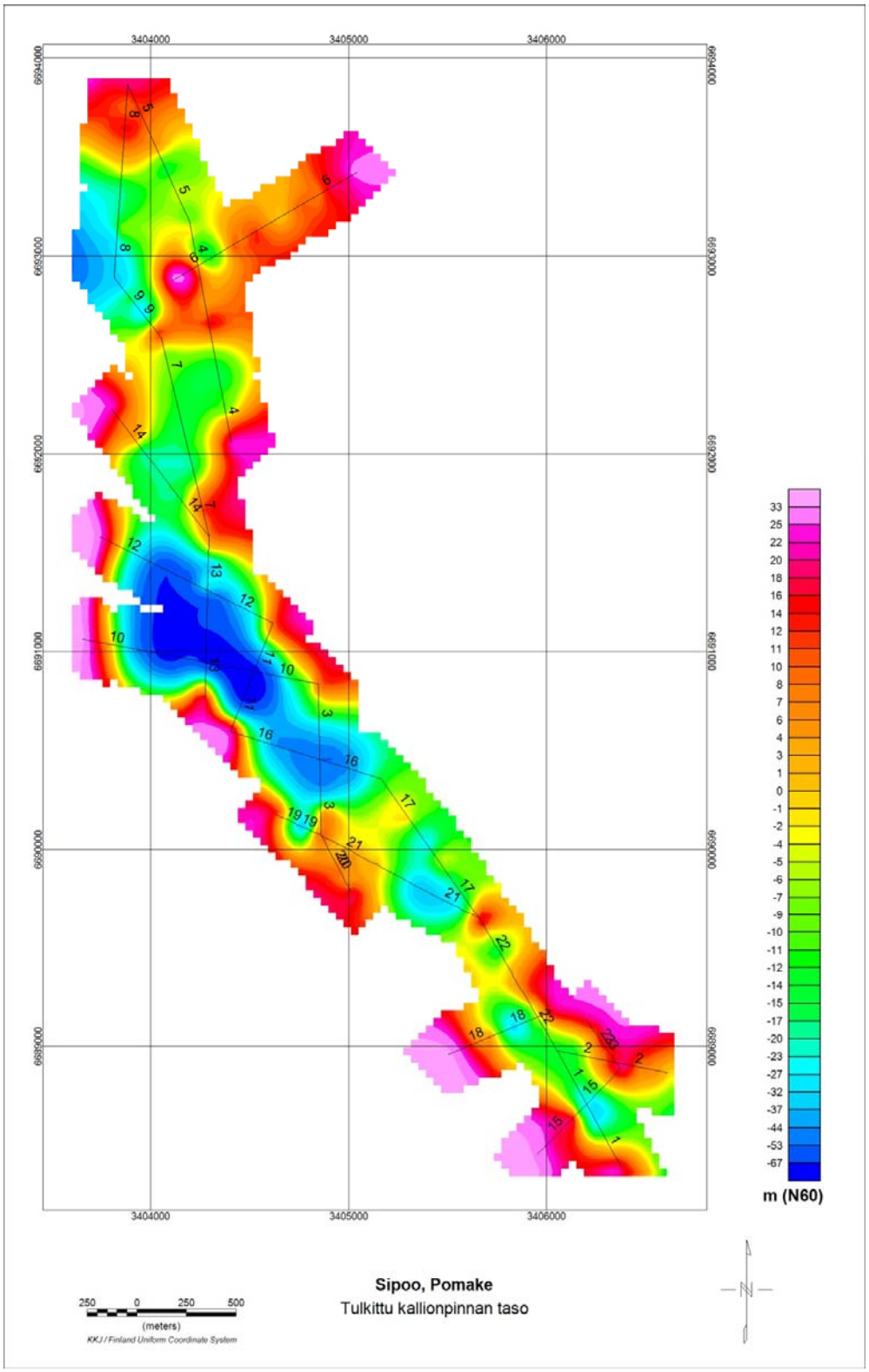
Kallionpinta on ylimmillään Norrkullan pohjavesialueella sen luoteis- ja itäosan kalliopaljastumilla ja lounaassa Stellbergsbackan alueella, noin +40 – +60 m mpy. Kallionpinnan korkeustaso on pääosin yli merenpinnan tason. Kallionpintamallin korkeustaso laskee pohjavesialueen kalliopaljastumilta kohti Sipoonjokilaaksoa, jossa kallionpinta laskee merenpinnan tason alapuolelle.

Nikukällan pohjavesialueella kallionpinta on korkeimmillaan alueen itä- ja länsiosan kalliopaljastumilla, jossa se on yleisesti yli +30 m mpy. nousten aina paikoitellen yli +60 metrin mpy. Kalliopinnan taso on Sipoonjokilaaksoa ympäröivillä alueilla yleisesti yli merenpinnan tason. Kalliomallin mukaan kallionpinnan vaihtelut ovat hyvin jyrkkäpiirteisiä ja suuria etenkin pohjavesialueen keskiosassa, missä jokilaaksoa ympäröivien kalliopaljastumien ja jokilaakson syvimmän kohdan välinen kalliopinnan korkeusero on jopa noin 150 metriä.

Söderkullan pohjavesialueella kallionpinta on korkeimmillaan Sipoonjokilaaksoa ympäröivillä kallioalueilla, jossa kallionpinnan taso on noin +20 – +50 m mpy. Yleisesti ottaen pohjavesialueen kallionpinnan taso on merenpinnan yläpuolella. Kalliopinnan taso laskee jyrkästi jokilaaksoa ympäröiviltä kalliopaljastumilta kohti jokilaakson pohjaa.

Matalimmillaan kallionpinta on Norrkullan pohjavesialueen keskiosissa Sipoonjoen laaksossa korkeustasolla -30 – +0 m mpy. Jokea ympäröivillä peltoalueilla kallionpinta vaihtelee +0 – +10 m mpy. Nikukällan pohjavesialueella kallionpinta on matalimmillaan alueen keskiosan syvässä painanteessa noin -90 m mpa. – -50 m mpa. Lisäksi alueen kaakkoispäässä on toinen kallionpinnan painanne, jossa kallionpinta on noin -30 m mpa. – -20 m mpa. Yleisesti ottaen jokilaakson alueella kallionpinnan taso on merenpinnan alapuolella. Söderkullan pohjavesialueella kallionpinnan taso on matalimmillaan Sipoonjoen laaksossa noin tasolla -20 m mpa. – 0 m mpy.

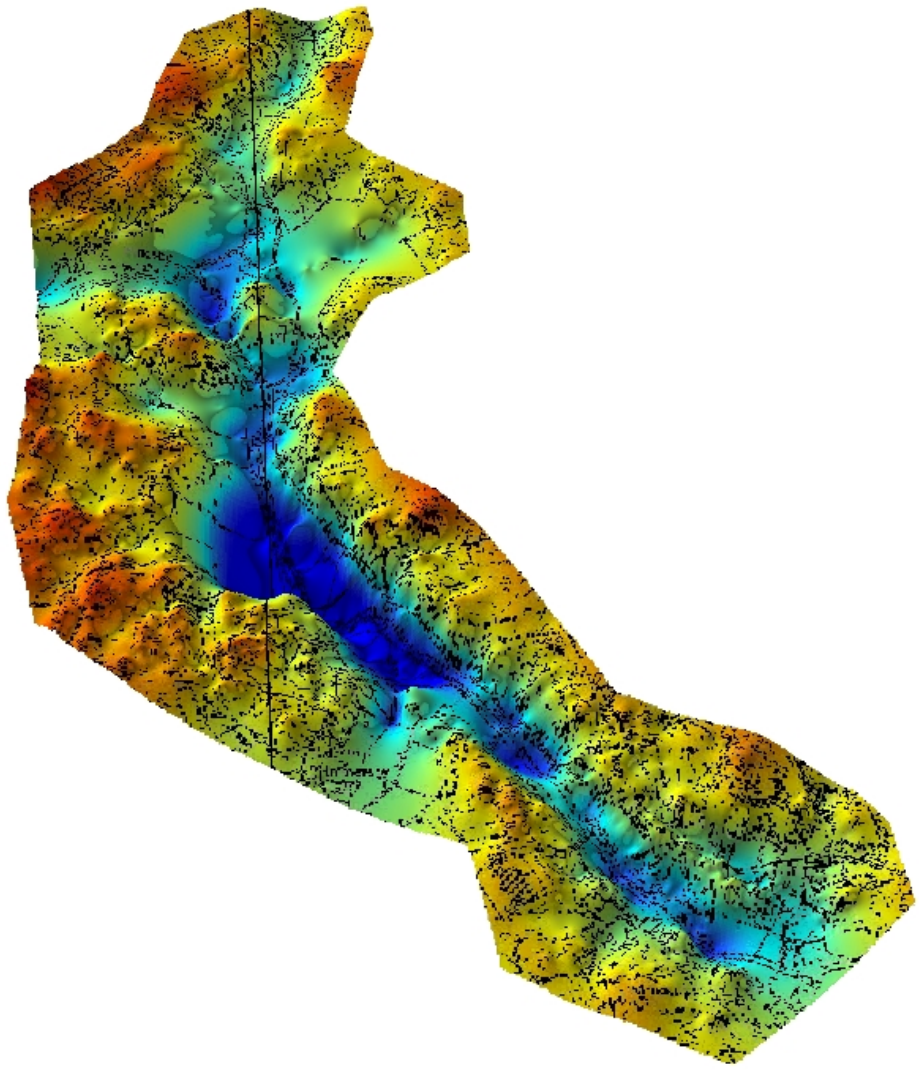
Söderkullan vedenottamon läheisyydessä kallionpinta on tasolla -20 m mpa. – -10 m mpa. Nikukällan pohjavesialueen itäosassa sijaitsevan Arla-Ingmanin vedenottamon alueella kallionpinnan taso on noin korkeudella -20 m mpa. – -10 m mpa.



Kuva 18**.** Väripintakuva painovoimamittausten perusteella tulkitusta kallionpintatasosta.

Kuva: T. Valjus, GTK.

GTK



Kuva 19. Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueiden kallionpinnan taso 3D-esityksenä. Kuva: T. Friman, GTK.

5.2 Pohjavesialueet ja -vyöhykkeet

Tutkimusalueen havaintoputkista, maatutkaluotauksista, seismisistä luotauksista ja luonnonvesipinnoista saatujen tasotietojen perusteella interpoloitu pohjaveden pinnankorkeusmalli on esitetty liitekartassa 4. Liitteessä 5 on esitetty pohjaveden kyllästämän maapeitteen paksuus sekä pohjavedenpinnan yläpuolisten kallioalueiden sijainti. Liitteessä on myös esitetty pintamallien perusteella tulkittujen pohjaveden virtausta rajoittavien kalliokynnysten sijainnit. Liitteessä 6 on esitetty pohjavedenpinnan yläpuolisen irtomaapeitteen (vajovesivyöhykkeen) paksuus. Irtomaapeitteen kokonaispaksuus on esitetty liitteessä 7. Pohjavedenpinnantasoja, virtaussuuntia ja pohjaveden virtauksen kannalta tärkeitä kerrostumia on käsitelty myös luvussa 3.

Tutkimusalue koostuu pohjoisesta eteläkaakkoon suuntautuneesta, lähes viisi kilometriä pitkästä savipeitteisestä pitkittäisharjujaksosta. Pohjavesialueelle ei ole määritelty pohjaveden muodostumisaluetta, koska harju on lähes kokonaan savikon alla. Tutkimusalueen pohjavesialueet ovat synkliinisiä pohjavesimuodostumia, joissa pohjavesi muodostuu ympäröiviltä kallioalueilta valuvista vesistä eli muodostumat ovat ympäristöstään vettä kerääviä. Paikoitellen etenkin tutkimusalueen itäreunalla aivan kalliomäkien laidalla hiekka- ja sorakerrokset ovat näkyvissä, ja muutamassa paikassa hiekat pistävät esiin savikon keskeltä. Näistä ns. harjuikkunoista suotautuu pohjavettä suoraan pohjavesimuodostumaan.

5.2.1 Pohjavesialueet

Norrkullan pohjavesialueen kokonaispinta-ala on noin 2,64 km^2. Pohjavettä arvioidaan muodostuvan noin 600 m^3 päivässä. Alueelle on tehty vedenottopaikan tutkimus. Nikukällan pohjavesialueen kokonaispinta-ala on noin 4,56 km^2 ja pohjavettä arvioidaan muodostuvan noin 800 m^3 päivässä. Alueella sijaitsee Ingman Foods Oy:n pohjavedenottamo, johon kuulu kaksi kuilukaivoa. Vedenottamo toimii pääosin varavedenottamona. Söderkullan pohjavesialueen kokonaispinta-ala on noin 1,95 km^2 ja pohjavettä arvioidaan muodostuvan 600 m^3 päivässä. Pohjavesialueella sijaitsee kaksi Tuusulan Seudun Vesilaitos Kuntayhtymän vedenottamo kaivoa. Vedenottamo on ollut pois käytöstä 1990-luvun alusta lähtien pohjaveden pilaantumistapauksen johdosta (Suomen ympäristökeskus 2014).

Norrkullan pohjavesialueen pohjavedenpinnan korkeus on suurimmillaan pohjavesialueen kaakkoisosassa tasolla n. +2,15 m mpy. Pohjavedenpinta laskee länteen kohti jokea ja pohjoiseen, kohti tutkittua vedenottopaikkaa, jossa pohjavedenpinnan korkeus on noin +1 m mpy. Uuden pohjavesiputken GTK6-2014 pohjavesi on paineellista. Paineellisissa pohjavesiputkissa pohjavedenpinnan taso hakeutuu sen luonnolliseen painetasoon. Norrkullan pohjoispuolella olevan Brobölen I luokan pohjavesialueen eteläosaan asennetussa pohjavesiputkessa GTK15-2014 pohjavedenpinnan korkeus on n. +4 m mpy. eli selvästi Norrkullan pohjavesialueen pohjavedenpintaa korkeammalla, mikä osoittaa näiden pohjavesialueiden olevan erillisiä pohjavesimuodostumia.

Nikukällan pohjavesialueella pohjavedenpinnan korkeus on suurimmillaan pohjavesialueen pohjoispäässä noin tasolla +2 m mpy. Pohjaveden pinta laskee varsin tasaisesti kohti etelää, jossa pohjavesiputken HP4 pohjavedenpinnankorkeus on noin +0,15 m mpy. Pohjavesimuodostuman länsilaidalla pohjavesiputken GTK17-2014 kohdalla pohjavedenpinta on tasolla +3 – +4 m mpy. eli pohjavesi virtaa kohti idässä olevaa harjumuodostumaa. Nikukällan eteläosassa sijaitsevan Ingman Foods Oy:n vedenottamon (kuva 20) alueella pohjavedenpinnankorkeus on tasolla n. +0,5 m mpy.

Söderkullan pohjavesialueen pohjavedenpinnan korkeus on suurimmillaan Söderkullan kartanon alueella sijaitsevan jokilaaksoa korkeamman kalliomäen päällä noin tasolla +10 – +12 m mpy. Pohjavedenpinnan taso laskee jyrkästi kartanon alueelta kohti etelää, jossa joen läheisyydessä pohjavedenpinnan taso on noin +2 m mpy. Pohjavesialueen pohjaveden virtaus suuntautuu Söderkullan kartanon alueelta etelään ja jokilaakson suuntaisesti kohti pohjoiskoillista. Alimmillaan pohjavedenpinnan korkeus on aivan Söderkullan vedenottamon (kuva 21) kaakkoispuolella tasolla n. +0,3 m mpy.



Kuva 20. Ingman Foods Oy:n vedenottamo Nikukällan pohjavesialueella. Kuva: T. Friman, GTK.



Kuva 21. Söderkullan suljettu vedenottamo. Kuva: T. Friman, GTK.

GTK

5.2.2 Pohjavesivyöhykkeen ja irtomaapeitteen paksuus

Liitteessä 5 on esitetty pohjavesivyöhykkeen paksuus. Pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee Norrkullan pohjavesialueella nollasta (kallionpinta pohjavedenpinnan yläpuolella) noin 30 metriin. Pohjavesialueen eteläosaan muodostuu selvä kalliokynnys, joka erottaa Norrkullan ja Nikukällan pohjavesialueet toisistaan (kuva 22). Mallinnuksen mukaan suurimmassa osassa Norrkullan pohjavesialuetta kallionpinta on pohjavedenpintaa korkeammalla, joten varsinaisen pohjavesivyöhykkeen pinta-ala jää melko pieneksi.

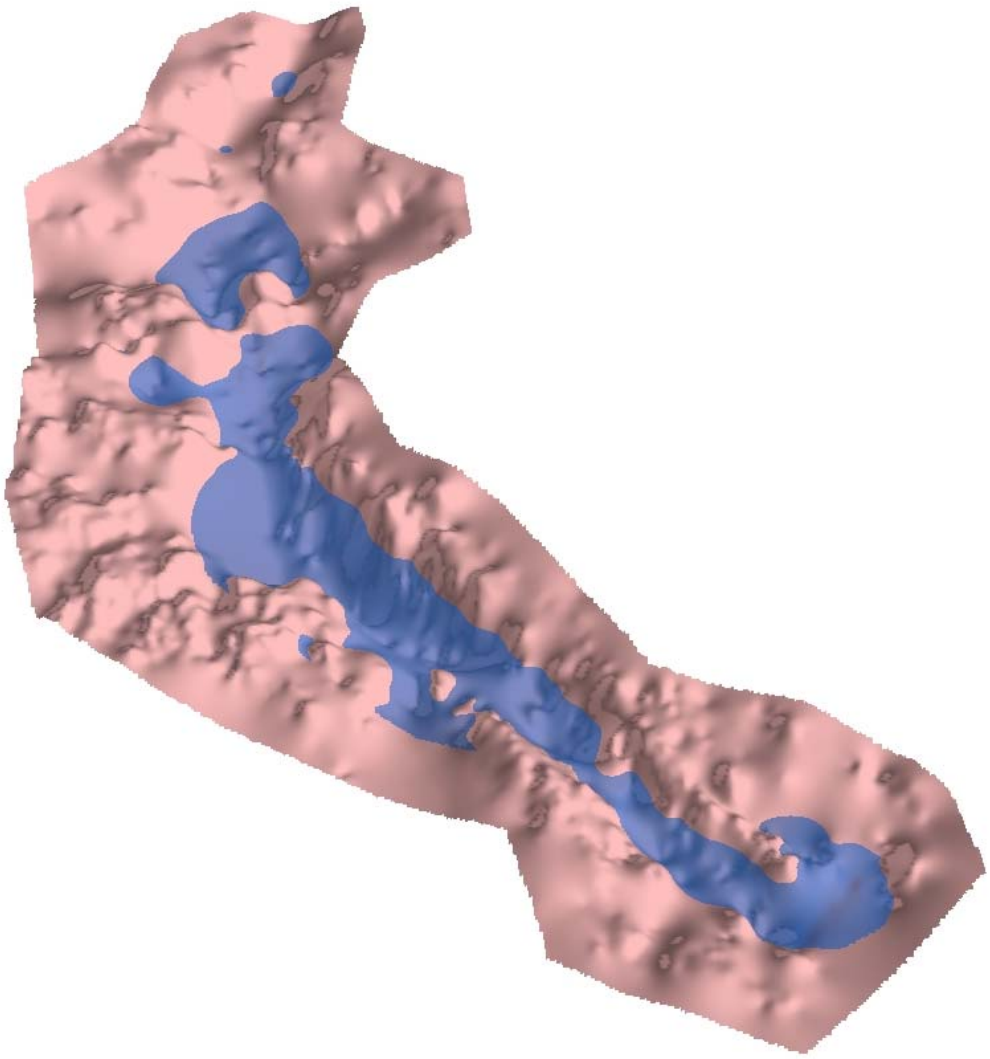
Nikukällan pohjavesialueella pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee nollasta aina noin 90 metriin asti. Paksuimmillaan pohjavesivyöhykkeen paksuus on pohjavesiputken GTK8-2014 ympäristössä, parhaimmillaan jopa 90 metriä. Pohjavesivyöhykkeen paksuus on noin 10 – 20 metrin luokkaa pohjavesialueen pohjois- ja eteläosassa. Ingman Foods Oy:n vedenottamon alueella pohjavesivyöhykkeen paksuus on noin 10 – 30 metriä. Nikukällan pohjavesialueella ei ole havaittavissa pohjavedenvirtausta rajoittavia tai estäviä kalliokynnyksiä.

Söderkullan pohjavesialueella pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee nollasta parhaimmillaan noin 40 metriin. Paksuimmillaan pohjavesivyöhyke on Sipoonjoen laaksossa Museon kohdalla. Söderkullan kartanon länsipuolelle muodostuu kalliokynnys, joka ohjaa pohjaveden virtauksen etelään ja jokilaaksoa pitkin pohjoiskoilliseen. Söderkullan vedenottamon alueella pohjavesivyöhykkeen paksuus on noin 10 – 20 metriä. Havaintoputkien HP4 ja HP5 välillä pohjavesivyöhyke on mallinnuksen mukaan 0 – 10 metriä paksu, mutta ei kuitenkaan muodosta kalliokynnystä pohjavesialueiden välille.

Pohjavettä purkautuu Sipoonjokeen ainakin Brobölen pohjavesialueella vanhan myllyn kohdalla sekä etelässä Söderkullan pohjavesialueella havaintoputken HP5 kohdalla. Vettä saattaa myös suotautua harjumuodostumaan Sipoon joesta esimerkiksi kevättulvan aikaan.

Liitteessä 6 on esitetty tutkimusalueen pohjavedenpinnan yläpuolisen irtomaapeitteen paksuus. Pohjavesi on tutkimusalueella keskimäärin 2 – 4 metrin syvyydessä. Pohjaveden yläpuolisen irtomaapeitteen paksuus vaihtelee nollasta lähes 25 metriin. Pohjavettä suojaavan maakerroksen paksuus on alle metrin lähinnä jokien, soistumien ja kallioalueiden läheisyydessä. Suurimmillaan maanpinnan ja pohjaveden etäisyys on Söderkullan ja Nikukällan alueilla jokilaakson itäpuolella kalliomäkien itärinteiden kupeessa, alueilla joissa harjumuodostuma pistää esiin savikon alta. Samoin Norrkullan alueella paksuimmat pohjaveden yläpuoliset irtomaakerrokset löytyvät joen itäpuolelta, Söderkullantien varrelta, missä harjuselänteet ovat näkyvissä. Paksuimmat pohjaveden yläpuoliset irtomaakerrokset esiintyvät Norrkullan kartanon alueella ja Söderkullan pohjavesialueella Söderkullan vedenottamon pohjoispuolella (kuva 23). Näillä paikoilla vajovesivyöhykkeen paksuus on reilusti yli 10 metriä.

Irtomaapeitteen kokonaispaksuus vaihtelee tutkimusalueella nollasta yli 90 metriin. Paksuimmat irtomaapeitteen paksuudet esiintyvät Sipoonjokilaakson kallioperän painanteiden alueella, vastaavasti jokilaaksoa ympäröivillä kallioalueilla ei ole juuri lainkaan irtomaapeitettä. Norrkullan pohjavesialueella on pienehköjä maa-aineksen ottoalueita Norrkullan kartanon pohjois- ja eteläpuolisilla harjukumpareilla, Nikukällan alueella on muutama vanha maa-aineksen ottoalue vedenottamon lähiympäristössä (kuva 11). Myös Söderkullan alueella on muutama vanha maa-aineksen ottoalue.



Kuva 22. Kallionpinta ja pohjavedenpinta 3D-esityksenä. Kuva: T. Friman, GTK.

5.2.3 Pehmeikön paksuus

Liitteessä 8 on esitetty pehmeikön paksuutta eli siltti- ja savikerrostumien paksuutta tutkimusalueella. Pehmeikön paksuus vaihtelee geofysikaalisen aineiston ja kairaustietojen perusteella nollasta yli 30 metriin. Norrkullan alueella pehmeikön paksuus on suurin, paikoin yli 30 metriä, havaintoputken GTK6-2014 ympäristössä Sipoonjoen laaksossa. Muuten Norrkullan pohjavesialueella pehmeikön paksuus on vain muutamia metrejä. Nikukällan pohjavesialueella pehmeikön paksuus on suurin Sipoonjokilaaksossa aivan alueen eteläosista pohjoisosiin, ollen reilusti yli 10 metriä ja paikoin jopa yli 20 metriä. Söderkullan pohjavesialueella pehmeikön paksuus on suurin aivan alueen kaakkoisosassa, ollen yli 10 metriä (kuva 23). Muualla Söderkullan pohjavesialueella pehmeikön paksuus on vain muutamia metrejä.

Yleisesti kaikkien mallien tarkkuus on sitä parempi, mitä lähempänä alue sijaitsee mitattuja sekä pohjaveden- että kallionpinnantasoja.

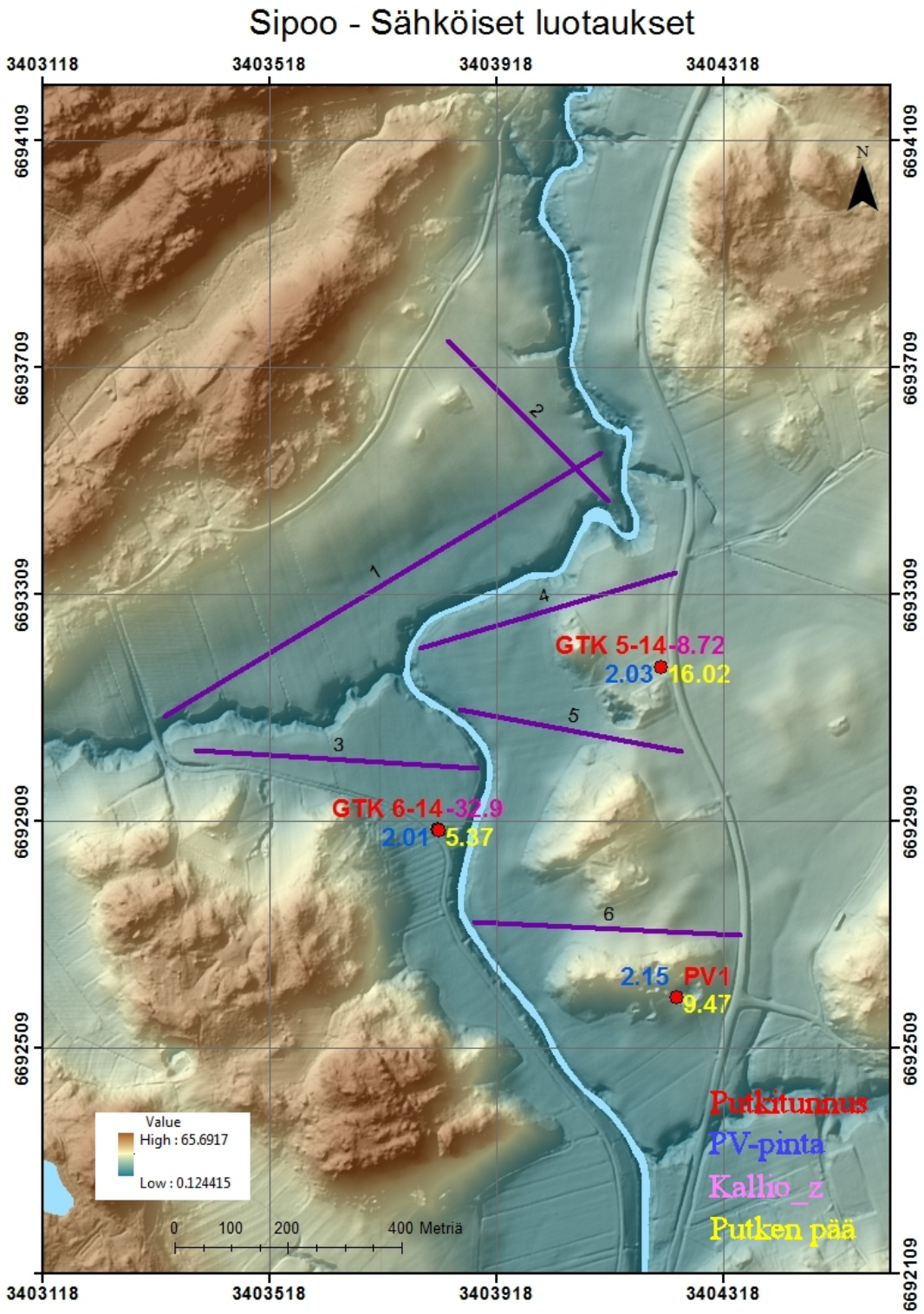


Kuva 23. Söderkullan vedenottamon pohjoispuolisen harjumuodostuman osa, jossa vajovesivyöhykkeen paksuus on yli 10 metriä, taustalla metsikössä vanha maa-aineksen ottoalue. Kuva: Timo Friman, GTK.

5.3 Monielektrodivastusluotausmittauksien tulosten tarkastelu

Mittausprofiilien tulkinnat on esitetty liitteissä 12.1 – 12.5. Kaikissa tulkintojen visualisoinneissa on käytetty samaa väriskaalaa, joten tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Alueen savikoita luonnehtivat niiden erittäin pienet ominaisvastusarvot, jotka viittaavat siihen, että alueella on sulfidisavia. Vastusluotaustulkinnoissa on havaittu (Ojala et al. 2007), että erittäin johtavien savien alapuolella oleva kallio saa normaalia pienempiä ominaisvastusarvoja (eli on todellisuutta johtavampi). On myös mahdollista, että mittauksessa ei saavuteta kalliota johtuen päällä olevasta erittäin johtavasta kerroksesta. Tällöin sähkövirta jää lähinnä johtavaan pintaosaan. Tämän vuoksi kalliopinnan topografiatason tulkinta on haasteellista erityisesti, jos savikerros on paksu. Kalliopinnan tasoa voidaan kuitenkin arvioida tuloksista referenssidatan avulla.

Linjan 1 (Liite 12.1) pintaosa on savikko, jonka kerrospaksuus vaihtelee muutamasta metristä noin pariin kymmeneen metriin. Linjalla kohdassa 350 – 750 oleva johtavampi vyöhyke näyttää ulottuvan syvemmälle. Tämä voi olla merkki mahdollisesta alla olevan kallion rikkonaisuusvyöhykkeestä. Kyseinen linja sijaitsee laajassa notkelmassa, joka on todennäköisesti suuremmassa ruhjevyöhykkeessä (kuva 24). Linjan kaakkoispuolella on varsinainen pehmeikköalue sekä pehmeikköalueen keskellä kulkeva joki. Linjan luoteispuolella maanpinta nousee loivasti. Linja 1 leikkaa linjaa 2 noin 850 metrin kohdalla (linjalla 2 kohta 320 m).



Kuva 24. Monielektrodivastusluotauslinjojen sijainti maanpinnan korkeusmallin yhteydessä. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus. Kuva: T. Huotari-Halkosaari, GTK.

Linjalla 2 on erittäin ohut savikerros pintaosassa aina noin 250 metrin kohtaan asti (Liite 12.2). Sen jälkeen saven paksuus kasvaa jyrkästi eli alla oleva kallionpinta putoaa nopeasti alas. Linjan loppupäässä savikon paksuus on jo noin 25 m, sen ominaisvastuksen ollessa alle 50 Ωm. Linja loppuu aluetta halkovaan jokeen (kuva 24). Linja 2 leikkaa linjaa 1 noin 320 metrin kohdalla (linjalla 1 kohta 850 m). Jos tarkastelee luotausprofiilin ominaisvastusarvoja, on mahdollista, että savikon alapuolella on myös jotain karkeampaa maalajia.

Linjan 3 ominaisvastusarvot ovat kauttaaltaan alhaisia. Tällä profiililla ei saavutettu kallion pintaa, lukuun ottamatta linjan alkupäätä (liite 12.2). Kyseinen linja sijaitsee kokonaan pehmeikköalueella päättyen alueen läpi virtaavaan jokeen (kuva 24). Linjan pintaosa on erittäin johtavaa savea (ominaisvastus alle 10 Ωm), mikä viittaa siihen, että kyseisessä kohdassa on mahdollisesti sulfidisavea. Savikerros paksuuntuu siirryttäessä kohti jokiuomaa. Saven alla on mahdollisesti hiekkaa tai moreenia.

Linja 4 sijaitsee aluetta halkovan joen itäpuolella (kuva 24). Tällä linjalla on myös erittäin johtavia savia (ominaisvastus alle 10 Ωm) lähellä jokiuomaa. Myös tällä profiililla on mahdollisesti sulfidisavia. Joesta itään siirryttäessä noin 250 metrin kohdalla on savikon paksuus hyvin ohut (liite 12.2). Tässä kohdassa alla oleva kallio nousee lähelle maanpintaa. Kohdassa 400 m kallion pinta putoaa taas syvemmälle.

Linjan 5 alkupäässä on erittäin paksu johtava savikko (liite 12.3). Myös tällä linjalla esiintyy mahdollisesti sulfidisavia. Linjan 5 topografia alkaa nousta selvästi noin 250 metrin kohdalta. Tästä eteenpäin kohti linjan loppuosaa savikon paksuus on enää pieni, tosin linjan loppuosassa savikko jälleen paksunee. Linjan puolen välin jälkeen syvemmällä erottuva resistiivinen osa on kalliota ja sen päällä on myös mahdollisesti hiekkaa, soraa tai moreenia.

Linja 6 kulkee pehmeikköalueella, mutta sen etelä- ja pohjoispuolella kohoaa kallio/hiekkamuodostuma (kuva 24). Myös tällä linjalla länsipäässä on erittäin johtavaa savea eli mahdollisesti sulfidisavea (liite 12.4). Tällä linjalla savikkoa on enää ohuelti noin 200 metristä eteenpäin. Kyseisellä linjalla on mahdollisesti myös hiekkaa, soraa tai moreenia kallion päällä (liite 12.4). On mahdollista, että ominaisvastusarvojen ollessa melko korkeita, nämä hiekat ovat pohjavedenpinnan yläpuolella, jolloin johtavuus on aina alhaisempi kuin kyllästyneillä maalajeilla. Liitteissä 12.4 – 12.5 on esitetty mitatut linjat ja mittauslinjojen profiilit 3D-esittyksenä.

5.4 Pohjaveden laatuanalyysi- ja kenttämittaustulokset

Pohjaveden näytteenotto ja kenttämääritykset tehtiin Sipoon Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueilla yhteensä kolmestatoista pohjavedenhavaintoputkesta (liite 13). Anioneista määritettiin bromi (Br), kloridi (Cl), fluoridi (F), sulfaatti (SO_4) ja nitraatti (NO_3). Kenttämäärityksistä mitattiin lämpötila (T), Redox (U), pH, sähkönjohtavuus (EC), happi (O_2), hiilidioksidi (CO_2), väri ja sameus. Taulukossa 1 on esitetty anionipitoisuudet ja taulukosta 2 kenttämääritysten tulokset. Tulokset on esitetty myös liitteessä 13.

5.4.1 Tulokset

Bromipitoisuudet vaihtelevat välillä <0,1 – 1,12 mg/l, suurin bromipitoisuus havaittiin havaintoputkessa GTK6-2014.

Kloridipitoisuudet vaihtelevat 4,54 – 409 mg/l, suurin kloridipitoisuus määritettiin havaintoputkesta GTK6-2014 ja matalin pitoisuus havaintoputkesta GTK9-2014. Kaikki määritetyt kloridipitoisuudet ovat alle Sosiaali- ja terveysministeriön asettaman kloridin enimmäispitoisuuden 250 mg/l (FINLEX 461/2000), paitsi havaintoputken GTK6-2014 pitoisuus, joka ylittää enimmäispitoisuuden reilusti. Hyvin korkea kloridipitoisuus viittaa todennäköisimmin vanhoihin merivaiheiden suolakonsentraatioihin, joita savialueilla voi esiintyä. Lisäksi havaintoputken HP5 kloridipitoisuus 135 mg/l on varsin korkea. Korkea kloridipitoisuus johtuu todennäköisesti läheisen Söderkullantien tiesuolauksesta, koska havaintoputken kohdalla tiessä on jyrkkä ylämäki, johon tarvitaan tiesuolaa talviaikaan.

Fluoridipitoisuudet vaihtelevat <0,1 – 0,56 mg/l välillä, korkein fluoridipitoisuus on havaittu havaintoputkessa GTK5-2014 ja matalin havaintoputkessa HP5. Kaikki fluoridipitoisuudet ovat alle määritetyn enimmäispitoisuuden 1,5 mg/l (FINLEX 461/2000).

Sulfaattipitoisuudet vaihtelevat välillä 2,15 – 118 mg/l, korkein pitoisuus on havaittu havaintoputkessa GTK5-2014 ja alhaisin havaintoputkessa GTK6-2014. Kaikki sulfaattipitoisuudet ovat alle määritetyn enimmäispitoisuuden 250 mg/l (FINLEX 461/2000).

Nitraattipitoisuudet vaihtelevat välillä <0,2 – 12 mg/l. Korkein nitraattipitoisuus on havaittu havaintoputkessa HP105. Kaikki määritetyt nitraattipitoisuudet ovat alle nitraatille määritetyn enimmäispitoisuuden 50 mg/l (FINLEX 461/2000).

Taulukko 1. Anionipitoisuudet.

Putken tunnus	Pvm	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	F (mg/l)	SO_4 (mg/l)	NO_3 (mg/l)
GTK5-2014	29.10.2014	<0,1	27,00	0,56	118,00	<0,2
GTK6-2014	28.10.2014	1,12	409,00	0,48	2,15	<0,2
GTK8-2014	28.10.2014	0,30	19,80	0,43	30,70	0,34
HP1	29.10.2014	0,35	34,30	0,31	51,80	0,43
GTK9-2014	29.10.2014	<0,1	4,54	0,11	10,40	1,80
HP3	29.10.2014	0,39	38,30	0,53	25,90	<0,2
HP4	29.10.2014	<0,1	23,00	0,39	65,20	<0,2
HP5	29.10.2014	<0,1	135,00	<0,1	24,90	1,79
HP6	30.10.2014	0,48	68,80	0,36	43,60	<0,2
HP200	28.10.2014	<0,1	37,00	0,26	41,80	<0,2
HPII	30.10.2014	0,33	65,70	0,36	42,00	<0,2
HP105	30.10.2014	<0,1	18,80	0,13	32,20	12,00
HP15	30.10.2014	0,51	53,60	0,43	33,40	<0,2
Keskiarvo		**0,31**	**71,91**	**0,34**	**40,16**	**1,37**

Taulukko 2. Kenttämääritysten tulokset.

Putken tunnus	Pvm	T (˚C)	U (mV)	pH	EC (mS/m)	O_2 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	väri (0-3)	sameus (0-3)
GTK5-2014	29.10.2014	7,80	-19,00	6,70	50,10	0,20	34,00	0,00	1,00
GTK6-2014	28.10.2014	7,20	-68,00	7,00	101,00	0,00	32,00	0,00	0,00
GTK8-2014	28.10.2014	7,40	-229,00	7,00	34,50	0,00	28,00	0,00	0,00
HP1	29.10.2014	7,60	60,00	6,20	29,80	1,10	45,00	0,00	0,00
GTK9-2014	29.10.2014	6,40	255,00	5,40	6,90	8,70	30,00	0,00	0,00
HP3	29.10.2014	7,20	-174,00	7,30	44,80	0,20	11,00	3,00	3,00
HP4	29.10.2014	7,80	-39,00	6,40	35,10	0,00	35,00	1,00	1,00
HP5	29.10.2014	7,10	201,00	6,00	50,90	4,10	25,00	1,00	1,00
HP6	30.10.2014	7,20	3,00	6,50	46,80	0,00	34,00	0,00	0,00
HP200	28.10.2014	7,80	-15,00	6,40	35,10	0,00	55,00	1,00	2,00
HPII	30.10.2014	6,80	23,00	6,40	41,70	0,00	45,00	0,00	0,00
HP105	30.10.2014	6,80	197,00	5,90	25,40	4,30	85,00	0,00	0,00
HP15	30.10.2014	7,30	-158,00	6,70	39,90	0,00	40,00	0,00	0,00
Keskiarvo		**7,26**	**2,85**	**6,45**	**41,69**	**1,43**	**38,38**	**0,46**	**0,62**

Havaintoputkista mitatut pohjaveden lämpötilat vaihtelivat 6,4 – 7,8 °C asteen välillä (taulukko 2). Korkeimmat lämpötilat havaittiin havaintoputkissa GTK5-2014, HP4 ja HP200, alhaisin lämpötila mitattiin havaintoputkesta GTK9-2014. Redox-arvot vaihtelivat välillä -229 – 255 mV, matalin redox-arvo mitattiin havaintoputkesta GTK8-2014 ja korkein arvo havaintoputkesta GTK9-2014. pH arvot vaihtelivat välillä 5,4 – 7,3, korkein arvo mitattiin havaintoputkesta HP3 ja matalin arvo havaintoputkesta GTK9-2014. Sähkönjohtavuus vaihteli välillä 6,9 – 101 mS/m, korkein sähkönjohtavuus mitattiin havaintoputkesta GTK6-2014 ja matalin sähkönjohtavuus havaintoputkesta GTK9-2014.

Happipitoisuudet vaihtelivat välillä 0 – 8,7 mg/l, korkein happipitoisuus mitattiin havaintoputkesta GTK9-2014. Täysin hapetonta pohjavesi oli havaintoputkissa GTK6-2014, GTK8-2014, HP4, HP6, HP200, HPII ja HP15. Hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä 11 – 85 mg/l, korkein hiilidioksidipitoisuus mitattiin havaintoputkesta HP105 ja matalin pitoisuus havaintoputkesta HP3. Pohjaveden aistinvaraisesti määritetty väriarvo oli nolla kaikissa havaintoputkissa, paitsi havaintoputkissa HP3 (arvo 3), HP4 (arvo 1), HP5 (arvo 1) ja HP200 (arvo 1). Pohjaveden aistinvaraisesti määritetty sameusarvo oli nolla kaikissa havaintoputkissa, paitsi havaintoputkissa GTK5-2014 (arvo 1), HP3 (arvo 3), HP4 (arvo 1), HP5 (arvo 1) ja HP200 (arvo 1).

Sipoon Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueiden 13 havaintoputkesta määritettyjen anionipitoisuuksien perusteella tutkimusalueen pohjavedenlaatu on kaikki laatuvaatimukset täyttävää ja hyvälaatuista pohjavettä, ainoastaan havaintoputken GTK6-2014 korkea kloridipitoisuus ylitti kloridille asetetun enimmäispitoisuuden, joka johtuu todennäköisimmin merisavien korkeammista suolapitoisuuksista. Myös kenttämittauksien perusteella alueen pohjaveden laatu on hyvää tasoa. Havaintoputkien GTK9-2014 ja HP105 pH-arvot ovat normaalia happamampia. Selvimmät pohjaveden laatuun liittyvät piirteet tulevat esiin niissä havaintoputkissa, joissa on

mitattu negatiivisia Redox-arvoja ja joissa happipitoisuus on nolla. Näissä havaintoputkissa on selvät viitteet savenalaisesta hapettomasta pohjavedestä.

5.4.2 Tulosten vertailu aikaisempiin mittaustuloksiin

Taulukossa 3 on vertailtu syksyllä 2014 määritettyjä ja mitattuja pohjaveden laatutietoja aikaisemmin mitattuihin tuloksiin, pohjavesiputkien HP1, HP3, HP4, HP5, HP6, HPII ja HP105 osalta. Vertailtavia muuttujia ovat happi (O_2), hiilidioksidi (CO_2), kloridi (Cl), nitraatti (NO_3), pH, sähkönjohtavuus (EC), sulfaatti (SO_4), lämpötila ja fluoridi (F). Muiden pohjavesiputkien osalta vertailua ei voitu tehdä puutteellisen aineiston vuoksi.

Taulukko 3. Pohjaveden laatutietojen vertailua 1990-luvulta syksyn 2014 määrityksiin ja mittauksiin.

	O_2 (mg/l)	CO_2 (mg/l)	Cl (mg/l)	NO_3 (mg/l)	pH	EC (mS/m)	SO_4 (mg/l)	T (°C)	F (mg/l)
HP1 (5.11.1991)	0,9	35	22	0,432	6,4	28	-	-	-
HP1 (30.1.1995)	0,4	-	36,3	0,042	6,3	39	78,4	6,7	0,29
HP1 (29.10.2014)	1,1	45	34,3	0,43	6,2	29,8	51,8	7,6	0,31
HP3 (5.11.1991)	0,3	12	47	0,023	7,4	52	-	-	-
HP3 (20.6.1994)	5,3	8,1	50	0,02	7,8	54	-	-	-
HP3 (29.10.2014)	0,2	11	38,3	<0,2	7,3	44,8	25,9	7,2	0,53
HP4 (5.11.1991)	0	33	34	0,023	6,8	42	-	-	-
HP4 (30.1.1995)	0,7	-	29,1	0,002	6,6	40	75,5	6,8	0,36
HP4 (29.10.2014)	0	35	23	<0,2	6,4	35,1	65,2	7,8	<0,1
HP5 (5.11.1991)	7	22	60	0,409	6,2	33	-	-	-
HP5 (20.6.1995)	7,9	28	192	0,71	5,4	68	-	-	-
HP5 (18.2.2003)	8	-	197	1,01	5,6	76,5	30,7	6,4	0,075
HP5 (29.10.2014)	4,1	25	135	1,79	6	50,9	24,9	7,1	<0,1
HP6 (5.11.1991)	0	42	70	0,023	6,6	52	-	-	-
HP6 (20.6.1994)	0,2	42	66	0,02	6,7	50	-	-	-
HP6 (19.2.2003)	0	-	71,8	0,003	6,6	52,9	55,1	6,6	0,4
HP6 (30.10.2014)	0	34	68,8	<0,2	6,5	46,8	43,6	7,2	0,36
HPII (30.1.1995)	1,4	-	87,5	0,064	6,4	53	49,5	6,9	0,33
HPII (18.2.2003)	0	-	64,5	0,035	6,5	47,8	56,1	6,6	0,36
HPII (30.10.2014)	0	45	65,7	<0,2	6,4	41,7	42	6,8	0,36
HP105 (8.8.1995)	2,3	-	23	3,6	6	27	30,4	7,1	0,12
HP105 (18.2.2003)	1,6	-	33,2	2,48	6,1	33,5	40,4	6	0,17
HP105 (30.10.2014)	4,3	-	18,8	12	5,9	25,4	32,2	6,8	0,13

Havaintoputken HP1 osalta muutokset vertailtavien muuttujien osalta ovat hyvin pieniä. Suurin muutos on sulfaattipitoisuuden lasku 1990-luvun puolivälistä nykypäivään ja myös happipitoisuudessa on havaittavissa vaihtelua.

Havaintoputkessa HP3 ei ole havaittavissa erityisiä muutoksia pohjaveden laadussa. Kloridipitoisuus on hieman laskenut 1990-luvun puolivälistä. Happipitoisuudessa on havaittavissa selkein

muutos, pitoisuus on ollut vuonna 1991 samalla tasolla kuin nykyään, mutta vuonna 1995 happipitoisuus on ollut yli kaksikymmentäkuusi kertaa suurempi.

Havaintoputken HP4 osalta ei ole havaittavissa suurempia muutoksia. Fluoridi-, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet pitoisuudet ovat laskeneet vuoden 1995 jälkeen.

Havaintoputken HP5 osalta suurin muutos vuosien aikana on tapahtunut kloridin kohdalla. 1990-luvun alussa pitoisuus oli 60 mg/l, josta pitoisuus nousi aina 2000-luvun alkupuolelle jolloin vuonna 2003 pitoisuus oli 197 mg/l. Syksyllä 2014 havaittu 135 mg/l pitoisuus osoittaa kloridipitoisuuden olevan laskusuunnassa. Lisäksi nitraattipitoisuus on noussut lähes nelinkertaiseksi 1990-luvun alusta.

Havaintoputkien HP6 ja HPII kohdalla ei ole tapahtunut juurikaan muutoksia tutkittujen aineiden pitoisuuksissa. Havaintoputken HP105 kohdalla muutokset 1990-luvun puolivälistä nykypäivään ovat hyvin pieniä kaikkien muiden muuttujien paitsi nitraatin kohdalla. Nitraattipitoisuus on noussut vuoden 2003 pitoisuudesta 2,48 mg/l aina 12 mg/l.

6 YHTEENVETO

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Etelä-Suomen yksikkö on tehnyt geologisen rakenneselvityksen Nikukällan (0175302) ja Söderkullan (0175315) ensimmäisen luokan pohjavesialueille sekä Norrkullan (0175303) toisen luokan pohjavesialueelle. Pohjavesialueet sijaitsevat Sipoossa.

Tutkimuksessa selvitettiin alueen kallionpinnan korkokuvaa, pohjavedenpinnan tasoa ja virtaussuuntia, harjumuodostuman syntyvaiheita sekä maaperäkerrostumien rakenteen ja aineksen vaihtelua. Tutkimusmenetelminä käytettiin painovoimamittauksia, kairauksia, maatutkaluotauksia, vastusluotauksia ja maastokartoituksia.

Tutkimusalue kuuluu I Salpausselän eteläpuoliseen vyöhykkeeseen. Mannerjäätikön edustalla olleen Baltian jääjärven ja sitä seuranneen Yoldiameren aikana alue oli vielä kokonaan veden peittämä. Tällöin vedensyvyys oli jopa 100 metriä. Ancylusjärvivaiheen aikana Itämeren altaan vedenpinta oli maankohoamisen seurauksena enää noin 50 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella, tällöin tutkimusalueen korkeimmat kohdat ovat olleet saaristoa. Nykyistä Itämerta edeltäneen Litorinavaiheen alussa noin 7500 vuotta sitten merenpinta oli noin 28 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella. Alueen moreenit ovat muodostuneet jäätikön aktiivisessa etenemisvaiheessa jäätikön pohjalle. Glasifluviaaliset harjumuodostumat ovat syntyneet jäätikön sulamisvaiheessa, jolloin Sipoojokilaakson harju on syntynyt jäätikköjoen uomaan. Moreeni ja harjuaineksen päälle kerrostuneet siltti- ja savikerrostumat ovat syntyneet jäätikön reunan perääntymisen jälkeisenä syvänveden merivaiheiden aikana.

Mallinnetulla alueella kallionpinnan korkeustaso vaihtelee noin -23 metristä mpa. yli +70 metriin mpy. Keskimäärin kallionpinta on tasolla +10 – +20 m mpy., ja suurimmalta osalta korkeustasolla -20 m mpa. – +20 m mpy. Kallionpinta on ylimmillään pohjavesialueita ympäröivillä kallioalueilla, noin +50 – +60 m mpy. Kallionpintamallin korkeustaso laskee pohjavesialueiden ympäröimiltä kalliopaljastumilta kohti Sipoonjokilaaksoa. Matalimmillaan kallionpinta on Nikukällan pohjavesialueen keskiosissa Sipoonjokilaaksossa korkeustasolla -90 – -80 m mpa.

Pohjavesialueen pohjavedenpinnan korkeus on suurimmillaan Söderkullan kartanon ympäristössä, noin +10 – +12 m mpy. Pohjavedenpinta laskee Norrkullan pohjavesialueella etelästä pohjoiseen, Nikukällan alueella pohjoisesta etelään ja Söderkullan alueella etelästä pohjoiseen.

GTK

Norrkullan alueella pohjavedenpinta vaihtelee noin +2 – +1 m mpy. Nikukällan pohjavesialueella pohjavedenpinta vaihtelee välillä noin +2 – +0,15 m mpy. Söderkullan pohjavesialueella pohjavedenpinta on korkeimmillaan tasolla noin +10 – +12 m mpy. ja alimmillaan tasolla +0,2 m mpy.

Pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee tutkimusalueella nollasta (kallionpinta pohjavedenpinnan yläpuolella) noin 90 metriin. Paksuimmillaan pohjavesivyöhyke on Nikukällan pohjavesialueella sijaitsevassa kallioperän syvänteessä, yli 90 metriä. Pääosin pohjavesivyöhykkeen paksuus on muutamasta metristä noin 20 metriin. Vedenottamoiden ympäristössä pohjavesivyöhyke on 10 – 20 metriä paksu. Norrkullan ja Nikukällan pohjavesialueiden väliin muodostuu pohjaveden virtausta rajoittava kalliokynnys.

Pohjavesi on tutkimusalueella keskimäärin 0 – 5 metrin syvyydessä. Pohjavettä suojaavan maakerroksen paksuus on alle metrin lähinnä jokien ja kalliopaljastumien läheisyydessä. Vajovesivyöhykkeen paksuus on suurimmillaan noin 20 – 25 metriä. Vajovesivyöhyke on paksuimmillaan savikon läpi esiin tulevien harjukumpareiden ja harjanteiden alueella.

Irtomaapeitteen kokonaispaksuus vaihtelee tutkimusalueella nollasta yli 90 metriin. Pohjavesialueita ympäröivillä kallioalueilla irtomaapeitteen paksuus on lähes olematon. Paksuimmat irtomaapeitteet esiintyvät Nikukällan pohjavesialueen keskiosan kallioperän syvässä painanteessa. Sipoonjokilaakson savikoilla ja sen keskeltä esiin tulevien harju kumpujen alueella irtomaapeitettä esiintyy kaikista runsaimmin. Tutkimusalueen pehmeikön paksuus vaihtelee nollasta lähes 30 metriin. Suurimmat pehmeikön paksuudet esiintyvät Sipoonjokilaaksossa joen ympäristössä erityisesti Nikukällan pohjavesialueella. Kalliomäkien reunoilla pehmeikön paksuus on selvästi ohuempi.

Vastusluotausmittauksissa havaittiin Norrkullan pohjavesialueella harjukerrostumien jatkuvuus joen itäpuolella, tosin kallionpinta on myös näillä kohdin varsin korkealla. Lisäksi savikolla havaittiin hyvin korkeita sähkönjohtavuuksia, jotka voivat indikoida sulfidisavia.

Pohjaveden laatumäärityksissä ja kenttämittauksissa ei havaittu mitään erityistä eikä pohjaveden laatu ole 1990-luvun jälkeen muuttunut radikaalisti. Havaintoputkessa GTK6-2014 havaittiin hyvin korkea kloridipitoisuus, joka indikoi vanhoja merivaiheiden suolaisia savia. Söderkullan alueella on havaittu havaintoputkessa HP5 kloridipitoisuuden voimakas nousu, joka on sittemmin kääntynyt laskuun. Tämä johtuu mitä ilmeisimmin tiesuolauksesta. Usean havaintoputken hapeton pohjavesi ja negatiiviset redox-arvot osoittavat savikon alaisen pohjaveden olevan paineellista.

7 KIRJALLISUULUETTELO

Arjas, J. 2005. Pohjaveden havaintoputket. Teoksessa: Pohjavesitutkimusopas, käytännön ohjeita. Suomen vesiyhdistys. 88 – 91 s.

Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maalajiluokitus. VTT, Geotekniikan laboratorio. Tiedonanto 14.

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

Kukkonen, M., Mäkilä, M., Grundström, A. & Herola, E. 1994. Maaperäkartta 1:20 000, Nickbyn maaperäkartan 2043 11 selitys. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 11 s.

Loke, M.H. & Barker, R.D. 1996. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting Vol. 44, 131-152.

Mäkinen, R. 2005. Pohjaveden muodostumis- ja virtaamaselvitykset. Teoksessa: Pohjavesitutkimusopas. Suomen Vesiyhdistys r.y. 2005. 194 s.

Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki: Tammi. 304 s.

Ojala, Antti E.K., Ikävalko, O., Palmu, J.-P., Vanhala, H., Suppala, I., Salminen, R., Lintinen, P. & Huotari, T. 2007. Espoon Suurpellon alueen maaperän ominaispiirteet. Geologian tutkimuskeskus, Arkistoraportti P22.4/2007/39, 51.

Peltoniemi, M. 1988. Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Otakustantamo, 411 s.

Povet-tietokanta 2014. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä tietokanta. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Salonen, V.-P., Eronen, M. & Saarnisto, M. 2002. Käytännön maaperägeologia. Kirja-Aurora, Turun yliopisto. 237 s.

Virkkala, K., Härme, M. & Hyyppä, J. 1959. Suomen geologinen kartta 1:100 000, lehti 2043 Kerava, Maaperäkartan selitys. Helsinki. 99 s.

Wenneström, M., Airo, M.-L., Elminen, T., Niemelä, R., Pajunen, M., Vaarna, M., Wasenius, P. 2008. Orientation and properties of jointing in Helsinki area, southern Finland. In: Tecktonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland – a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland. Special Paper 47. Espoo: Geological Survey of Finland, 253-282.

GTK

Tutkimuskartta
Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet
Sipoo

1:20 000

N

- Kairaus (GTK 2014)
- Pohjavedenhavaintoputki (GTK 2014)
- Pohjavedenhavaintoputki (POVET)
- Kairaus (2001; putki hävinnyt)
- Pohjavedenhavaintoputki (2001)
- Vedenottamo/Tutkittu vedenotto paikka
- Painovoimamittauslinja
- Maatutkaluotauslinja
- Vastusluotauslinja
- Seisminen mittauslinja (1999)
- Pohjavesialueen raja

0 1 2 km

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

LIITE 1

Maaperäkartta
Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet
Sipoo

1:20 000

N

- Kalliohavainto (GTY)
- Pohjavesialueen raja
- Kalliomaa (Ka)
- Hiekkamoreeni (Mr), Soramoreeni (SrMr)
- Sora (Sr)
- Hiekka (Hk)
- karkea Hieta (KHt)
- Savi (Sa)
- Liejusavi
- Lieju
- Rahkaturve (St)
- Saraturve (Ct)
- Täytemaa (Ta)
- Vesi (Ve)

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

0 1 2 km

GTK

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000 6687000

LIITE 2

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

Kallionpinnan korkeus (m mpy. ja m mpa.)

1:20 000

N

alle -90	-10 - 0
-90 - -80	0 - 10
-80 - -70	10-20
-70 - -60	20-30
-60 - -50	30-40
-50 - -40	40-50
-40 - -30	50-60
-30 - -20	60-70
-20 - -10	

- Kairaus (kalliovarmistettu)
- Pohjavesiputki (kalliovarmistettu)
- Pohjavesiputki 1995 (kalliovarmistettu)
- Pohjavesiputki (POVET kalliovarmistettu)
- Pohjavesiputki 2001 (kalliovarmistettu)
- Maatutkaluotaus (kalliohavainto)
- Vanha kairaus (kalliovarmistettu)
- Vedenottamo/Tutkittu vedenotto paikka
- Painovoimamittaus
- Seismineluotaus
- Pohjavesialueen raja

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

0 1 2 km

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6695000 6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

1:20 000

N

Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy.)

- 0-0.5
- 0.5 - 1
- 1.0-1.5
- 1.5 - 2
- 2.0 - 2.5
- 2.5 - 3
- 3.0 - 3.5
- 3.5 - 4
- 4.0 - 4.5
- 4.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30

- Vedenottamo
- Pohjavedenhavaintoputki (hävinnyt)
- Pohjavedenhavaintoputki
- Pohjavedenhavaintoputki (2001)
- Pohjavedenhavaintoputki (POVET)
- Pohjavedenhavaintoputki
- Pintaveden pinta
- pohjaveden pääasiallinen virtaussuunta
- Maatutkaluotaus (pohjavesihavainto)
- Seismineen luotaus (1999)

0 1 2 km

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6695000 6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

1:20 000

N

Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy.)

- 0-0.5
- 0.5 - 1
- 1.0-1.5
- 1.5 - 2
- 2.0 - 2.5
- 2.5 - 3
- 3.0 - 3.5
- 3.5 - 4
- 4.0 - 4.5
- 4.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30

- Vedenottamo
- Pohjavedenhavaintoputki (hävinnyt)
- Pohjavedenhavaintoputki
- Pohjavedenhavaintoputki (2001)
- Pohjavedenhavaintoputki (POVET)
- Pohjavedenhavaintoputki
- Luonnonvesipinta
- pohjaveden pääasiallinen virtaussuunta
- Maatutkaluotaus (pohjavesihavainto)
- Seismineen luotaus (1999)

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

0 1 2 km

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6695000 6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000

LIITE 4

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

1:20 000

Pohjavesivyöhykkeen paksuus (m)

- Kallionpinta pohjavedenpinnan yläpuolella
- 0 - 10
- 10-20
- 20-30
- 30-40
- 40-50
- 50-60
- 60-70
- 70-80
- 80-90

- Vedenottamo
- Kairaus
- Pohjavedenhavaintoputki
- Pohjavedenhavaintoputki (Hävinnyt)
- Pohjavesialueviirat
- pohjaveden pääasiallinen virtaussuunta
- pohjaveden kulkua estävät/ohjaavat kallioperän rakenteet

N

GTK

0 1 2 km

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6695000 6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000

LIITE 5

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

1:20 000

N

Pohjavedenpinnan yläpuolisen irtomaakerroksen paksuus (m)

- 0-2
- 2-4
- 4-6
- 6-8
- 8-10
- 10-15
- 15-20
- 20-25

- Kairaus
- Pohjavedenhavaintoputki
- Pohjavedenhavaintoputki (Hävinnyt)
- Vedenottamo
- Pohjavesialueen raja

GTK

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

0 1 2 km

3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6695000 6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000

Sipoo, Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet

1:20 000

N

Irtomaapeitteen kokonaispaksuus (m)

0-1	10-15
1-2	15-20
2-4	20-40
4-6	40-60
6-8	60-80
8-10	80-95

- Pohjavedenhavaintoputki (Hävinnyt)
- Kairaus
- Pohjavedenhavaintoputki
- Vedenottamo
- Pohjavesialueen raja

0 1 2 km

GTK

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

LIITE 7

Sipoo
Norrkullan, Nikukällan ja Söderkullan pohjavesialueet
Pehmeikönpaksuus tulkinta (20 ohmm)

N

1:20 000

0 - 2	16 - 18
2 - 4	18 - 20
4 - 6	20 - 22
6 - 8	22 - 24
8 - 10	24 - 26
10 - 12	26 - 28
12 - 14	>28 m
14 - 16	Pohjavesialueen raja

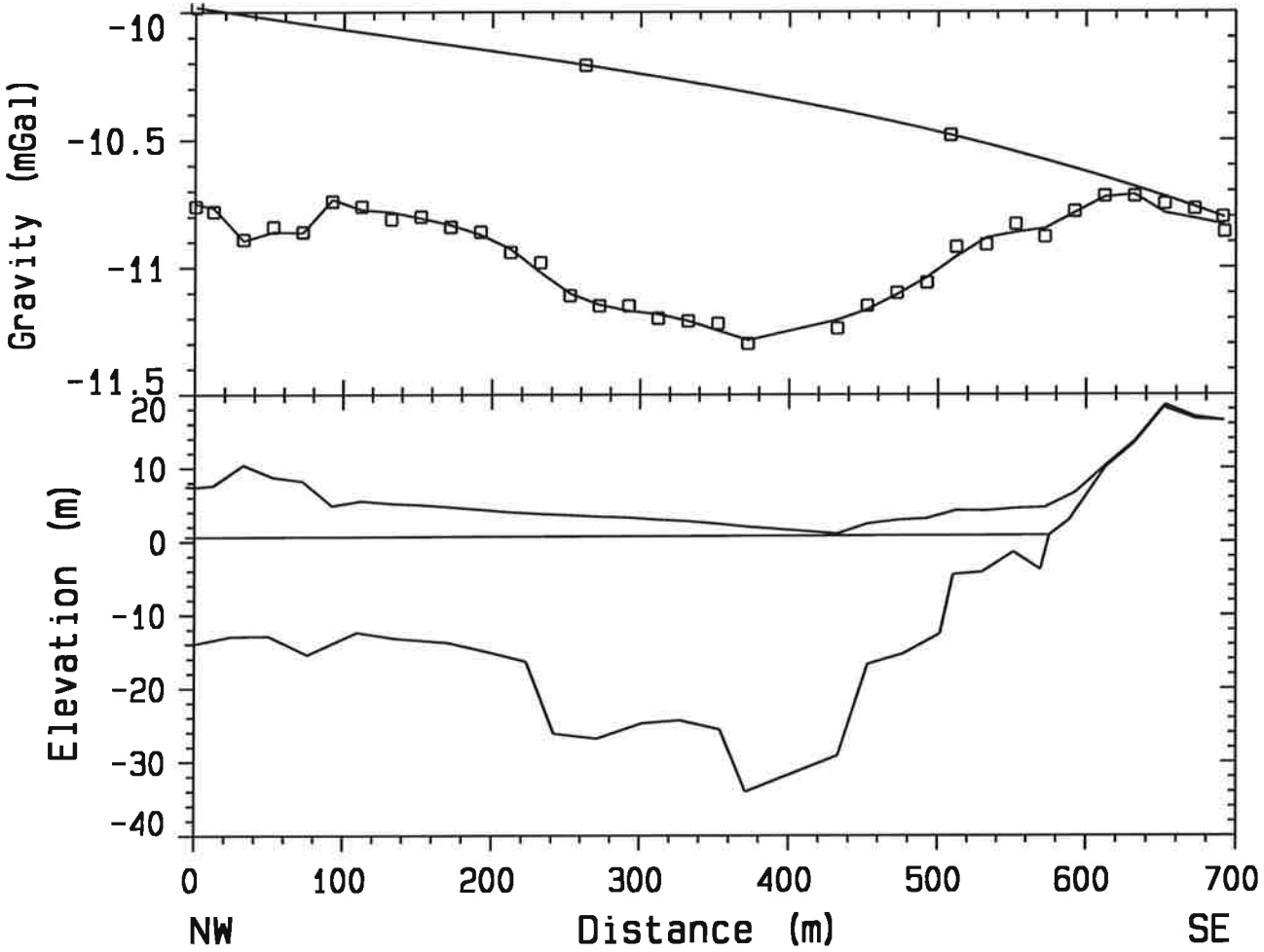
GTK

Karttatuloste © GTK
Pohjavesialueet © SYKE
Pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.

0 1 2 km

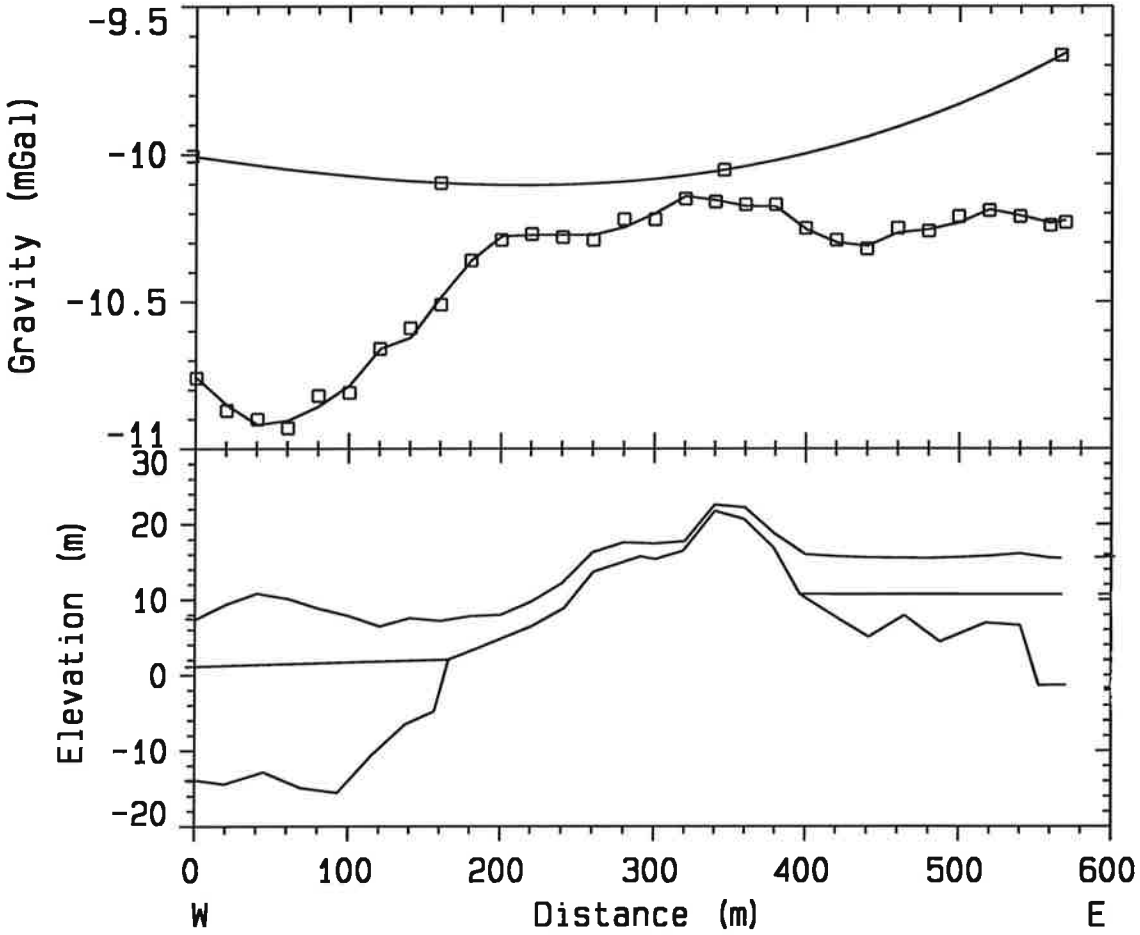
3402000 3403000 3404000 3405000 3406000 3407000

6694000 6693000 6692000 6691000 6690000 6689000 6688000 6687000



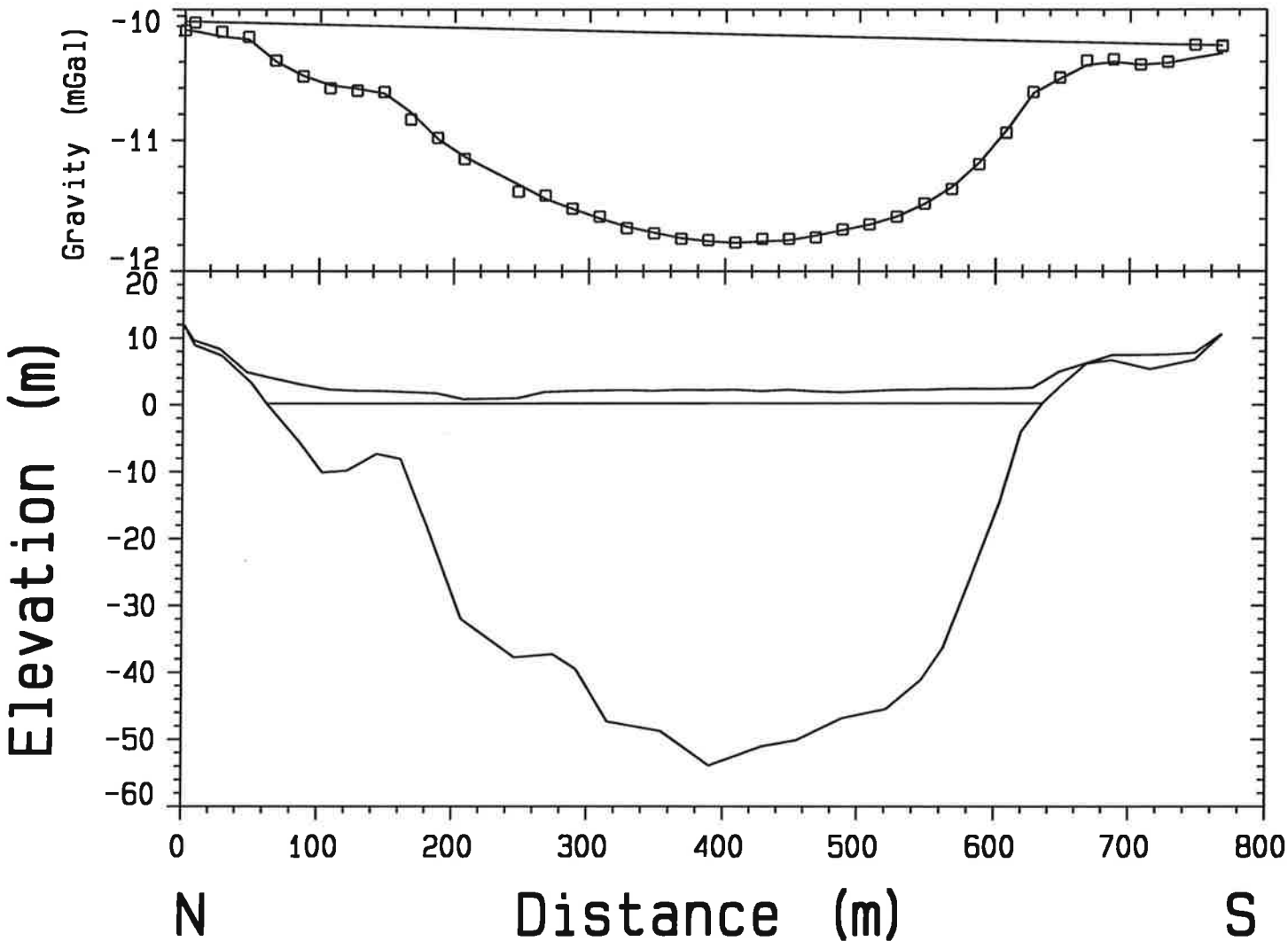
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6688981-6688375, 406052-406386 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 1	Date: 10.06.2014	
	Profile: 1	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.1



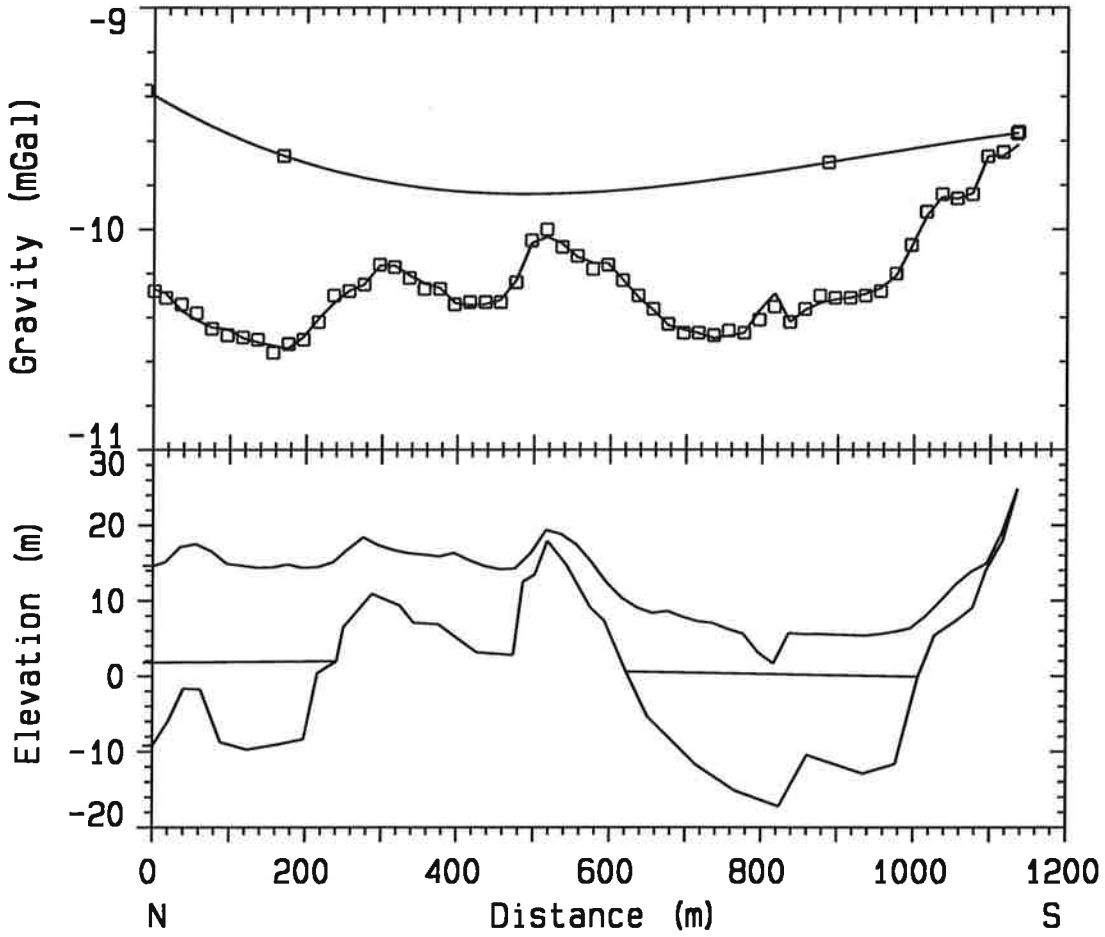
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6688981-6688869, 406052-406610 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 2	Date: 10.06.2014	
	Profile: 2	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.2



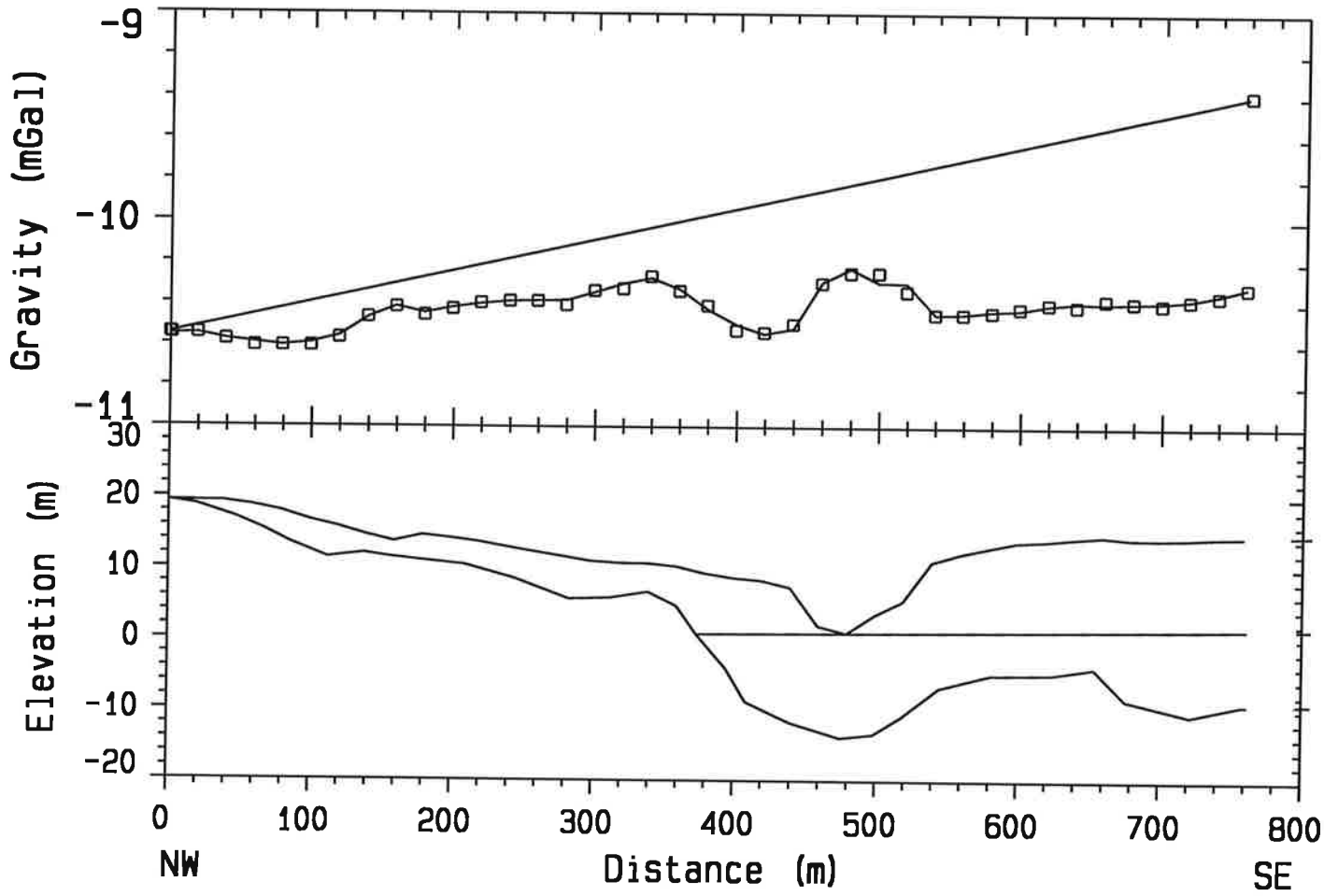
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690837-6690070, 404846-404862 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 3	Date: 10.06.2014	
	Profile: 3	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.3



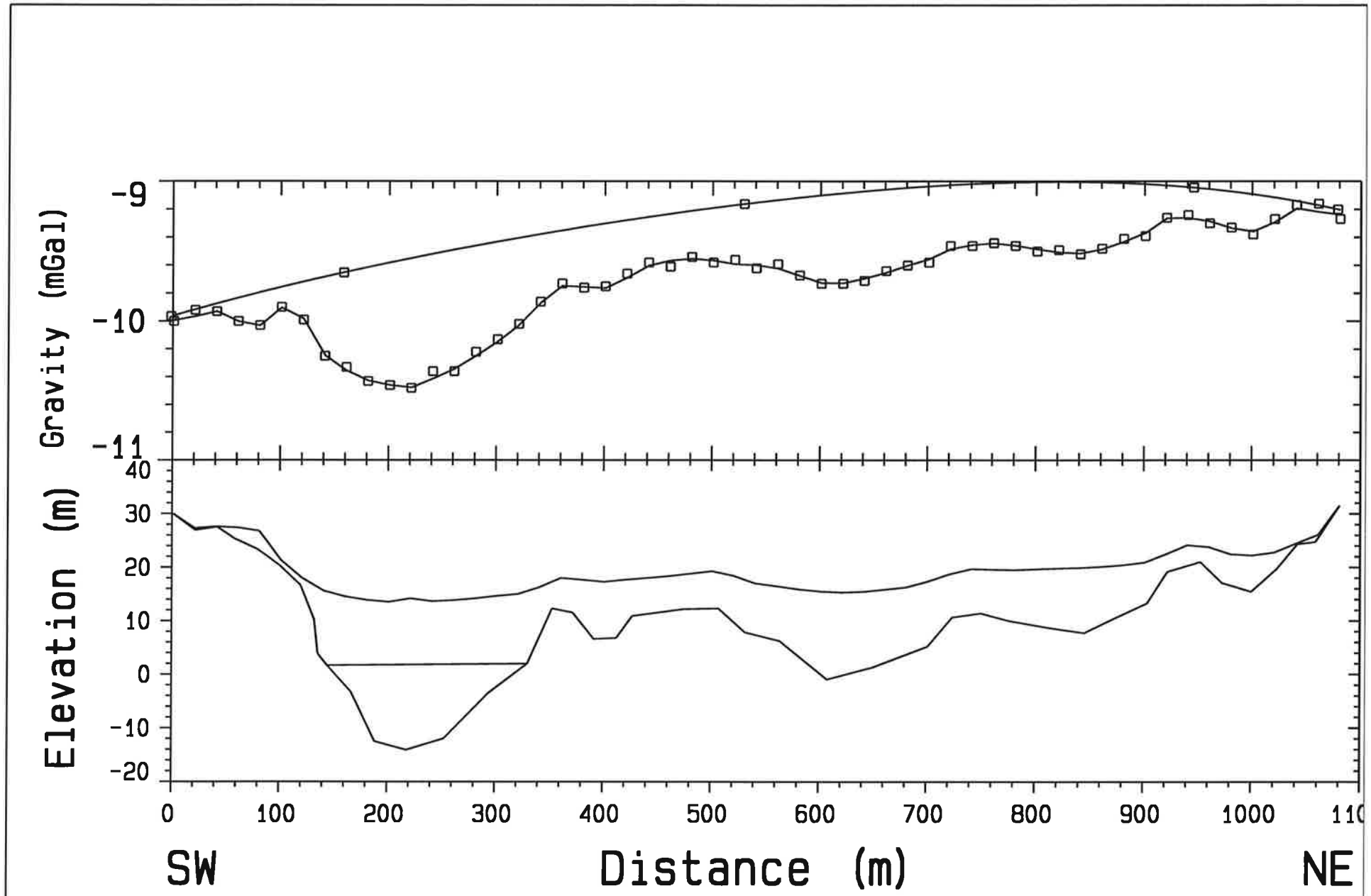
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6693178-6692063, 404195-404406
Data Set: 4	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 4	Profile Scale: 1:10000 Vert. Exagg: 10.00:1

LIITE 9.4



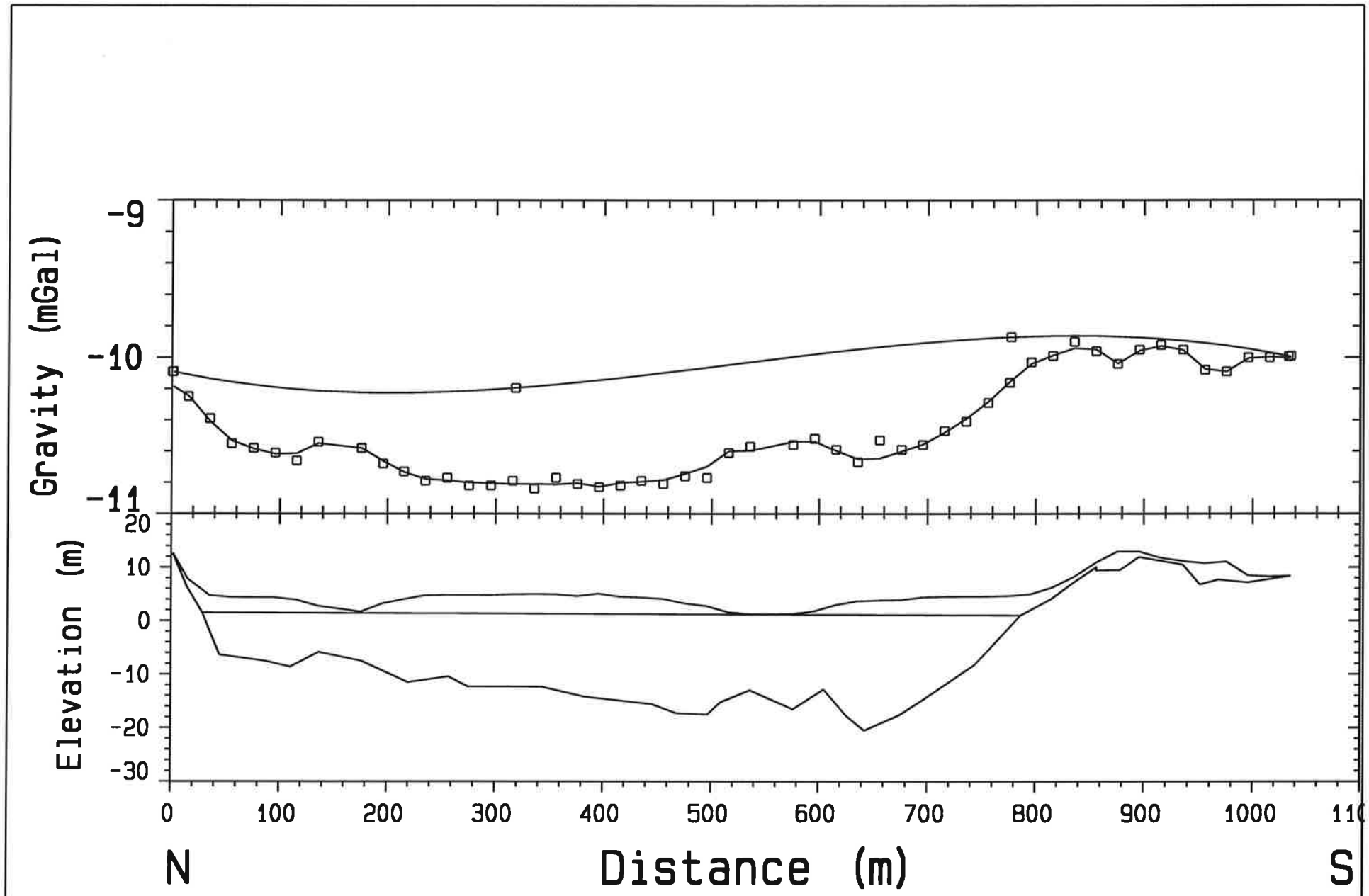
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6693869-6693178, 403884-404195
Data Set: 5	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 5	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.5



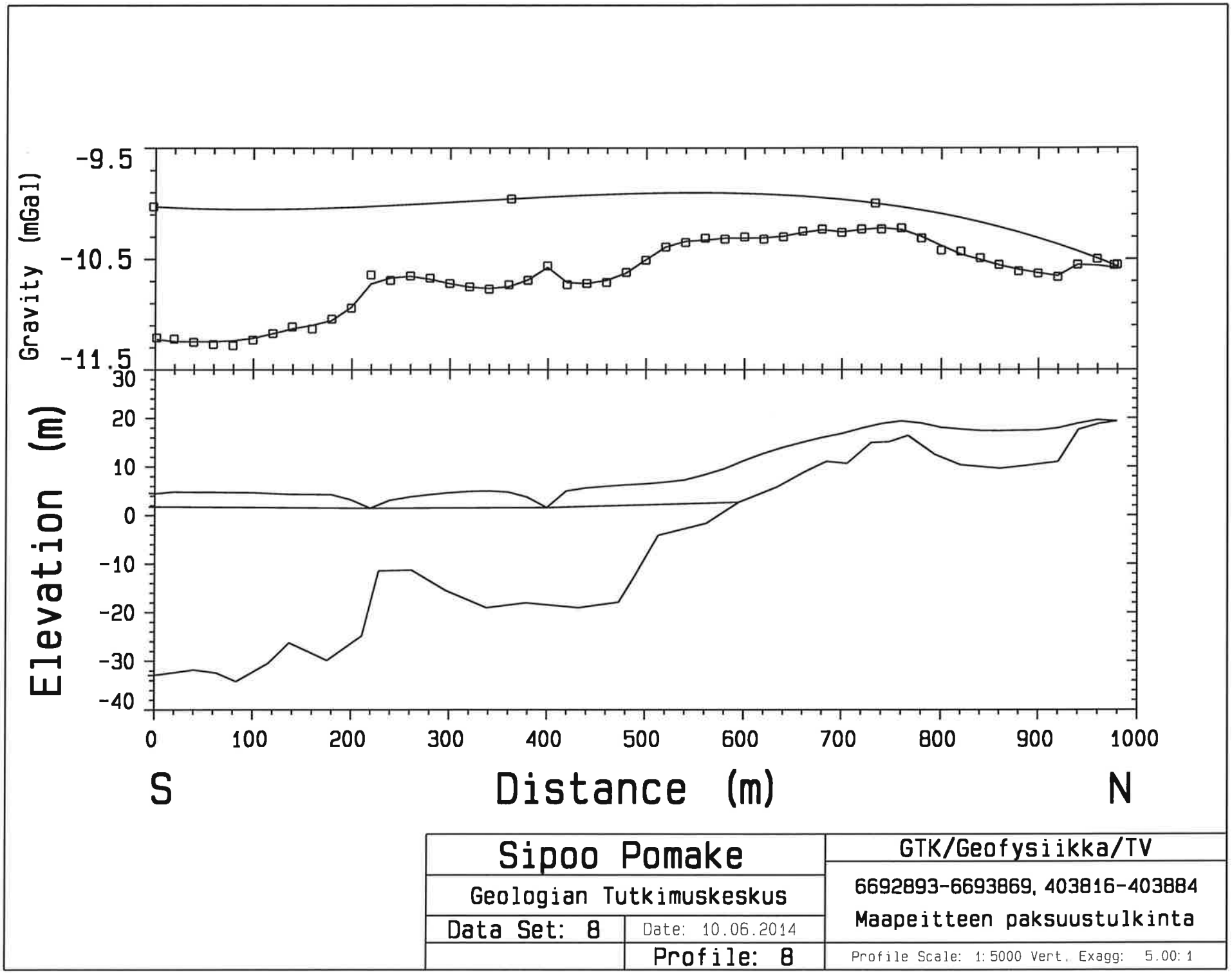
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6692877-6693424, 404110-405041
Data Set: 6	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 6	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.6



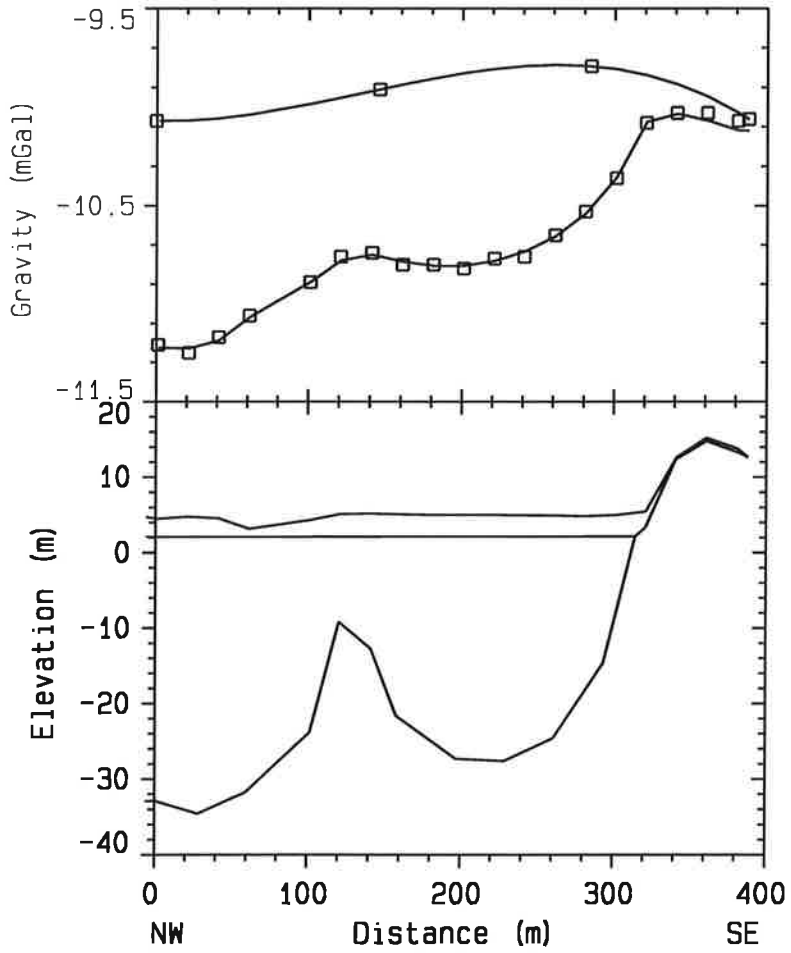
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6692588-6691582, 404054-404294
Data Set: 7	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 7	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.7



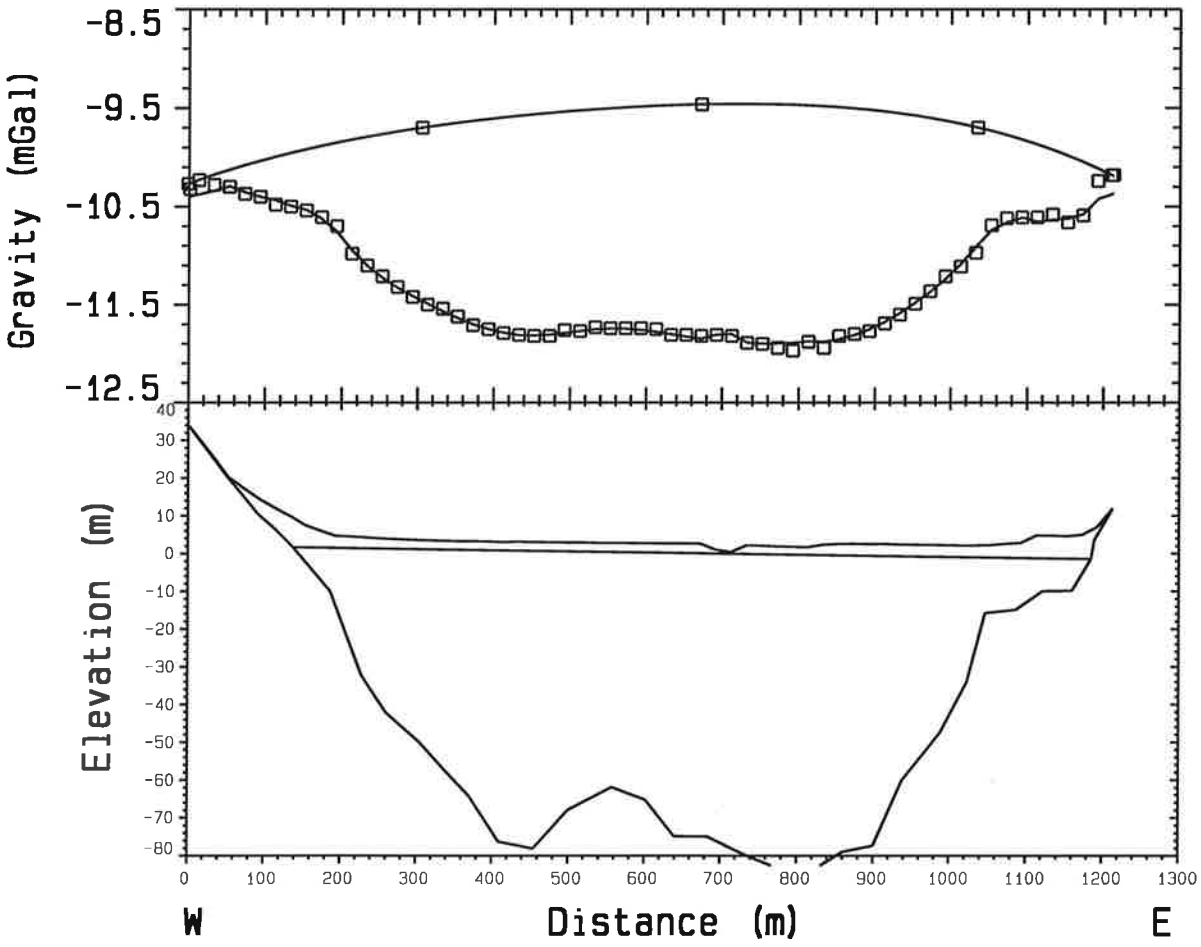
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6692893-6693869, 403816-403884
Data Set: 8	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 8	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.8



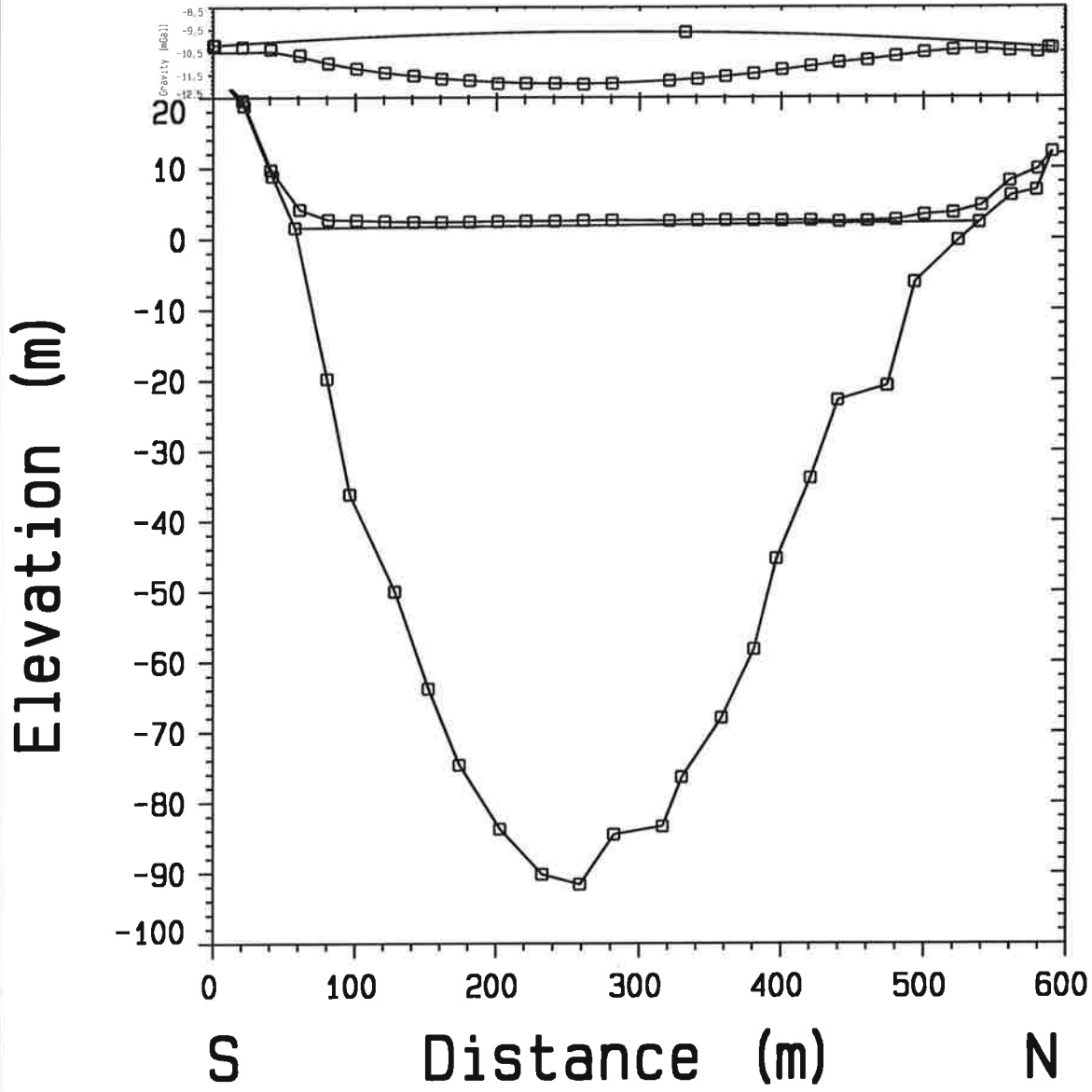
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6692893-6692588, 403816-404054 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 9	Date: 10.06.2014	
	Profile: 9	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.9



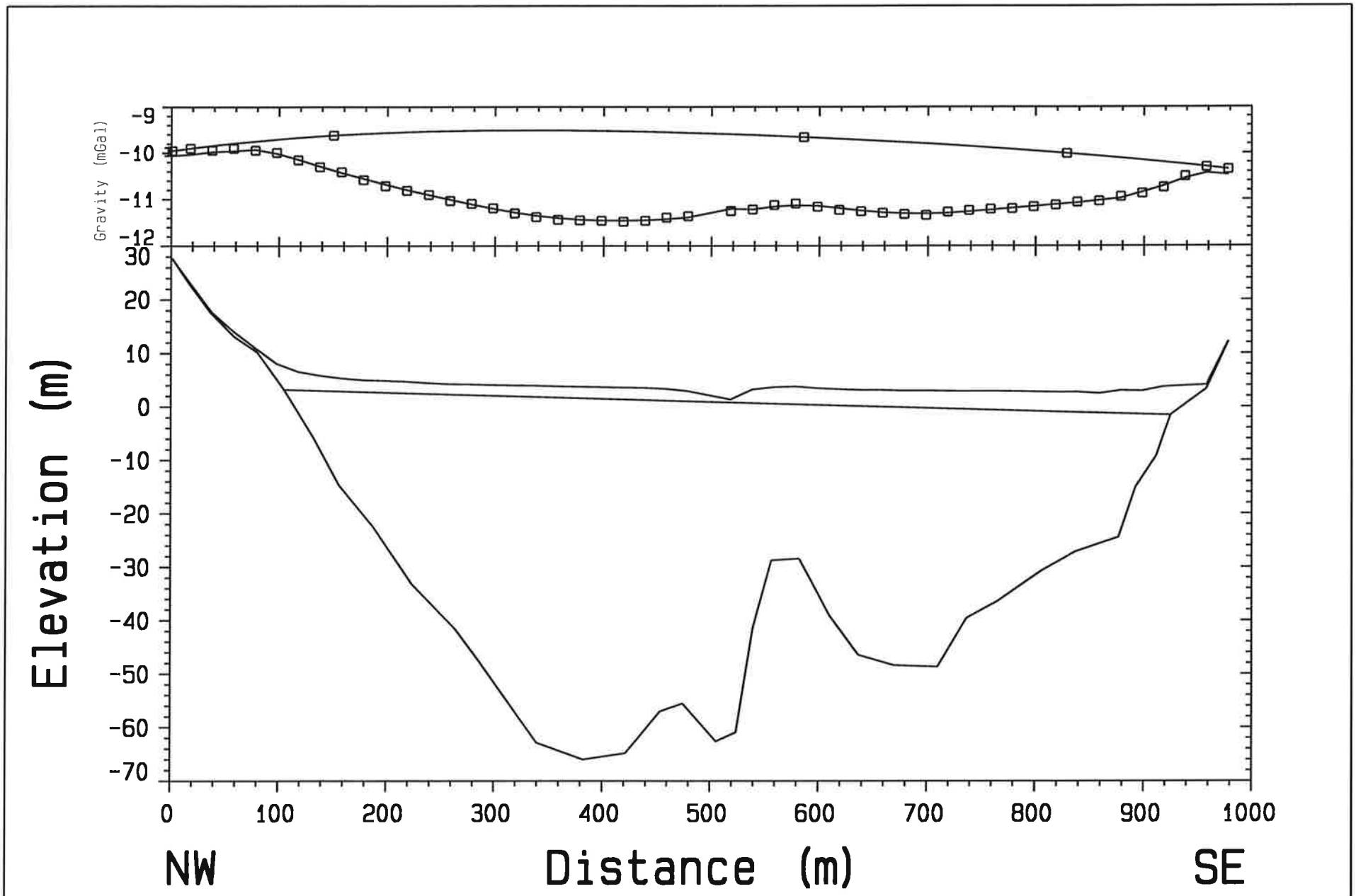
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6691064-6690837, 403656-404846 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 10	Date: 10.06.2014	
	Profile: 10	Profile Scale: 1: 10000 Vert. Exagg: 5.00: 1

LIITE 9.10



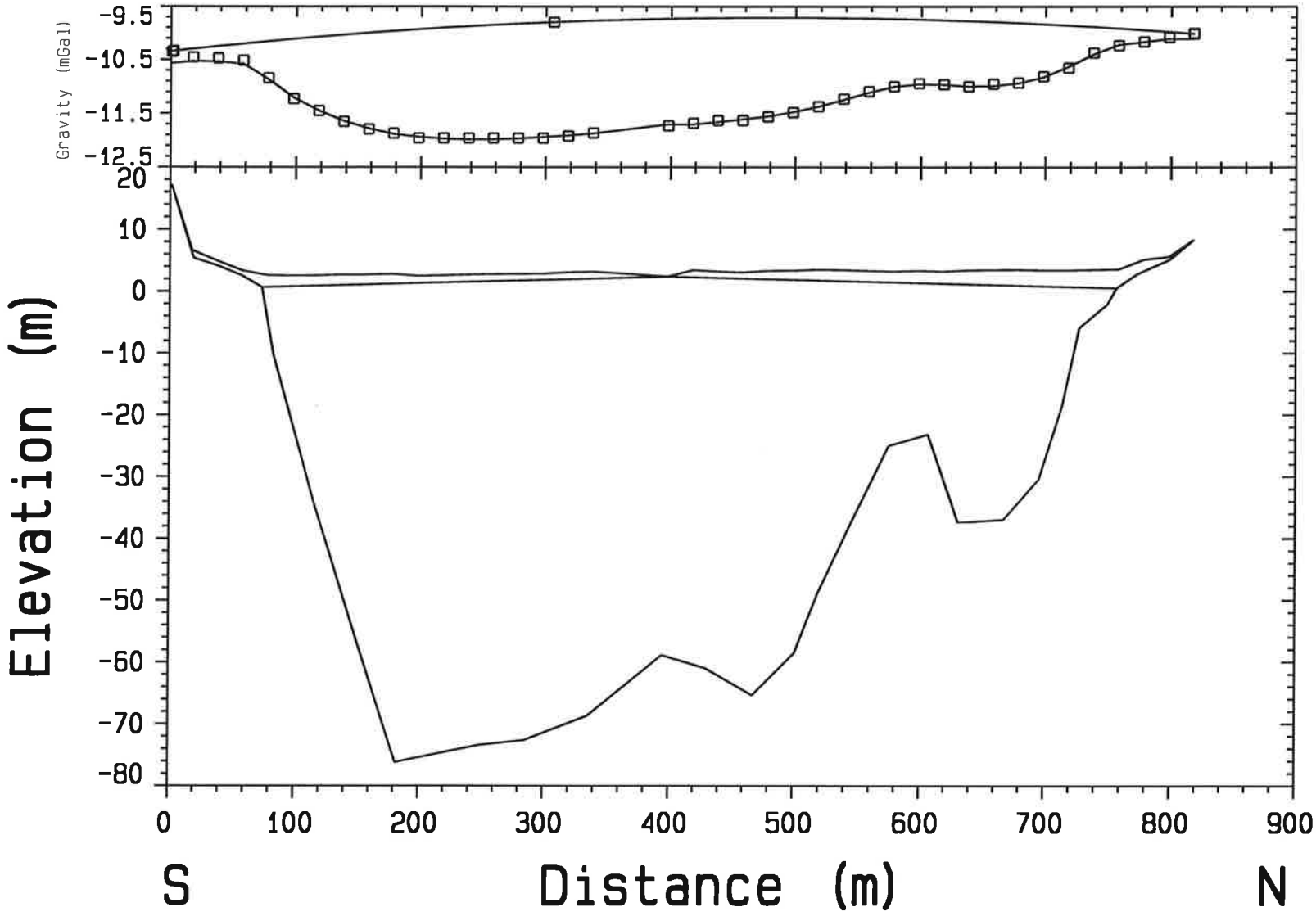
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690596-6691145, 404402-404617
Data Set: 11	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 11	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.11



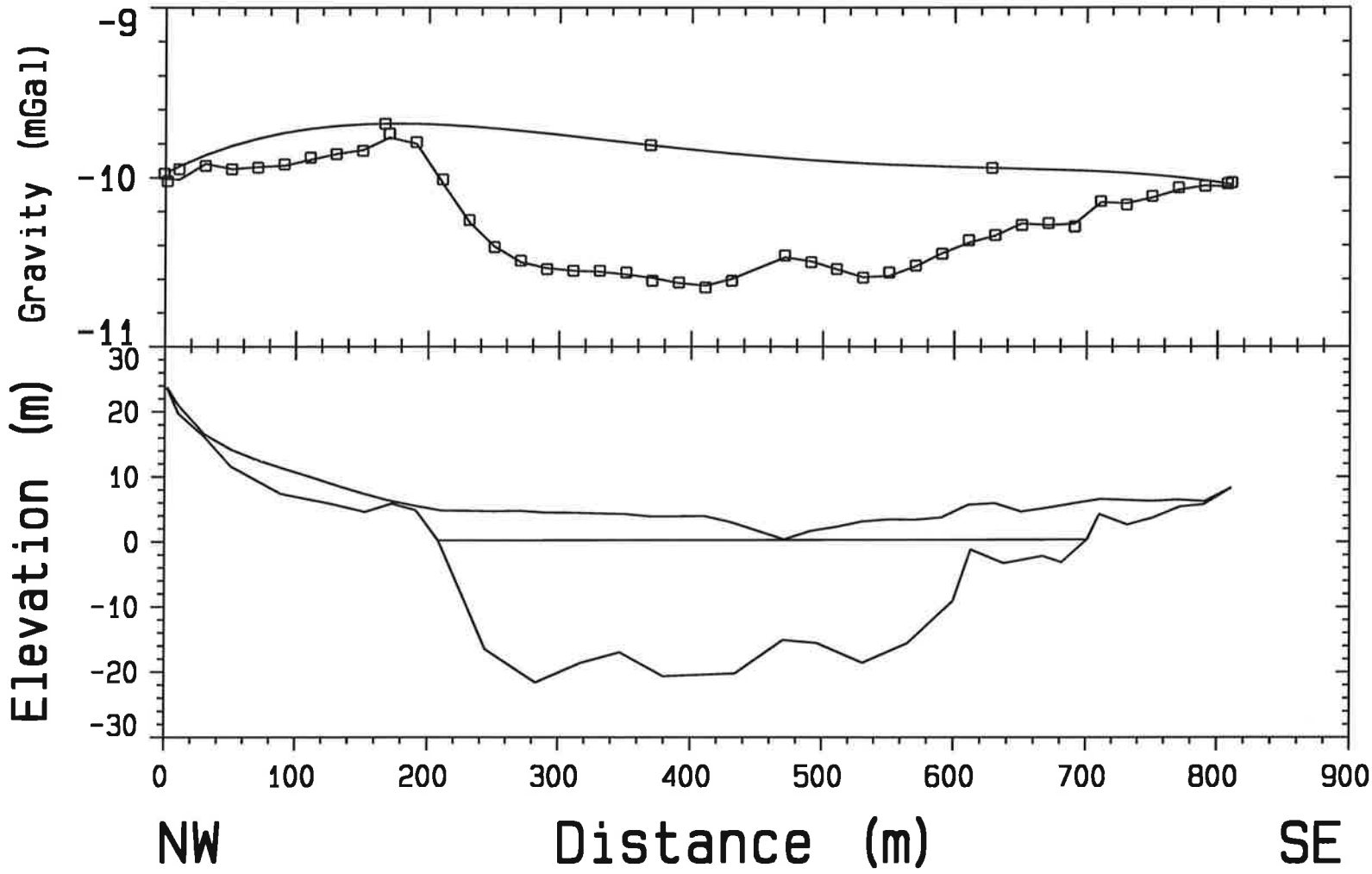
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6691581-6691145, 403742-404617 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 12	Date: 10.06.2014	
	Profile: 12	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.12



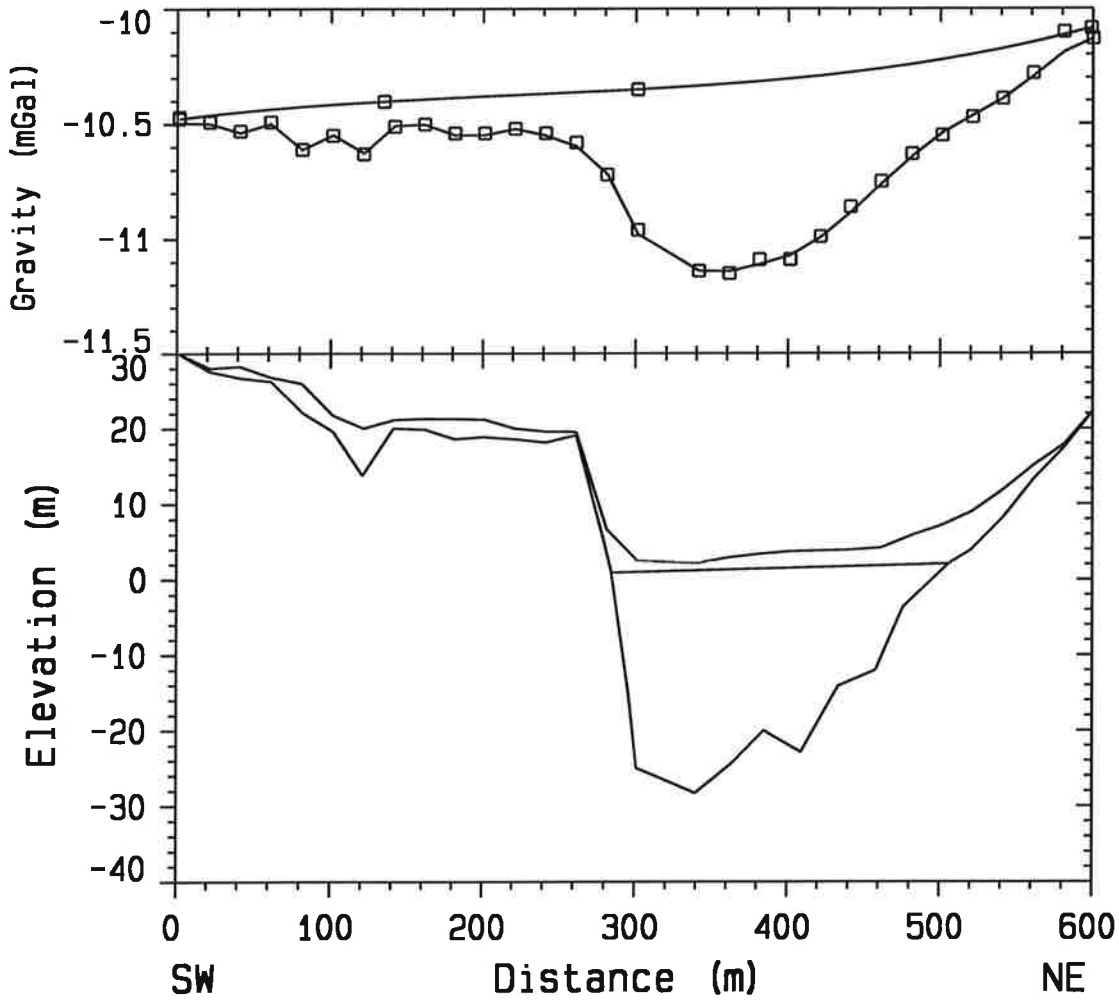
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690765-6691582, 404275-404294 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 13	Date: 10.06.2014	
	Profile: 13	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.13



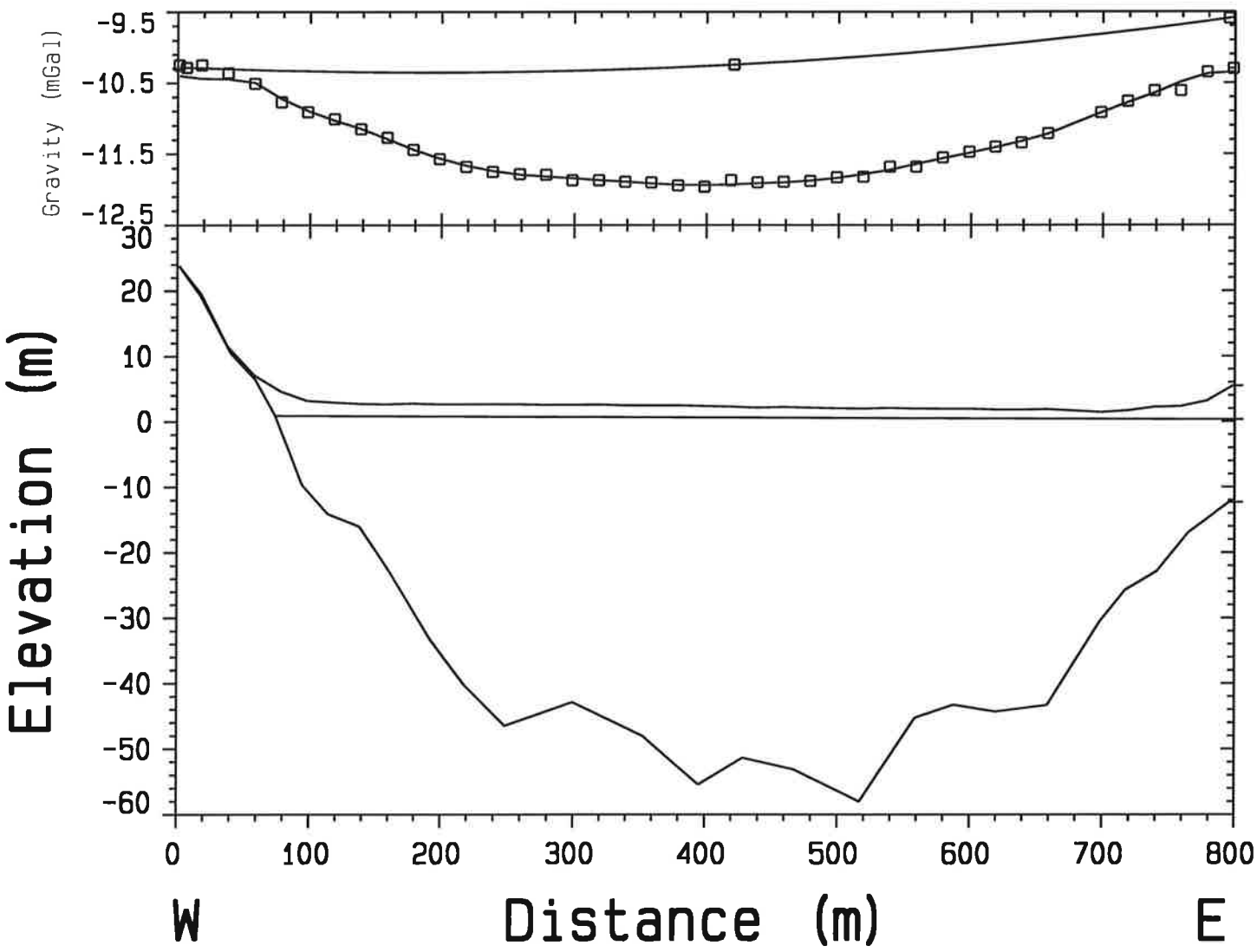
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6692226-6691582, 403804-404294 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 14	Date: 10.06.2014	
	Profile: 14	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.14



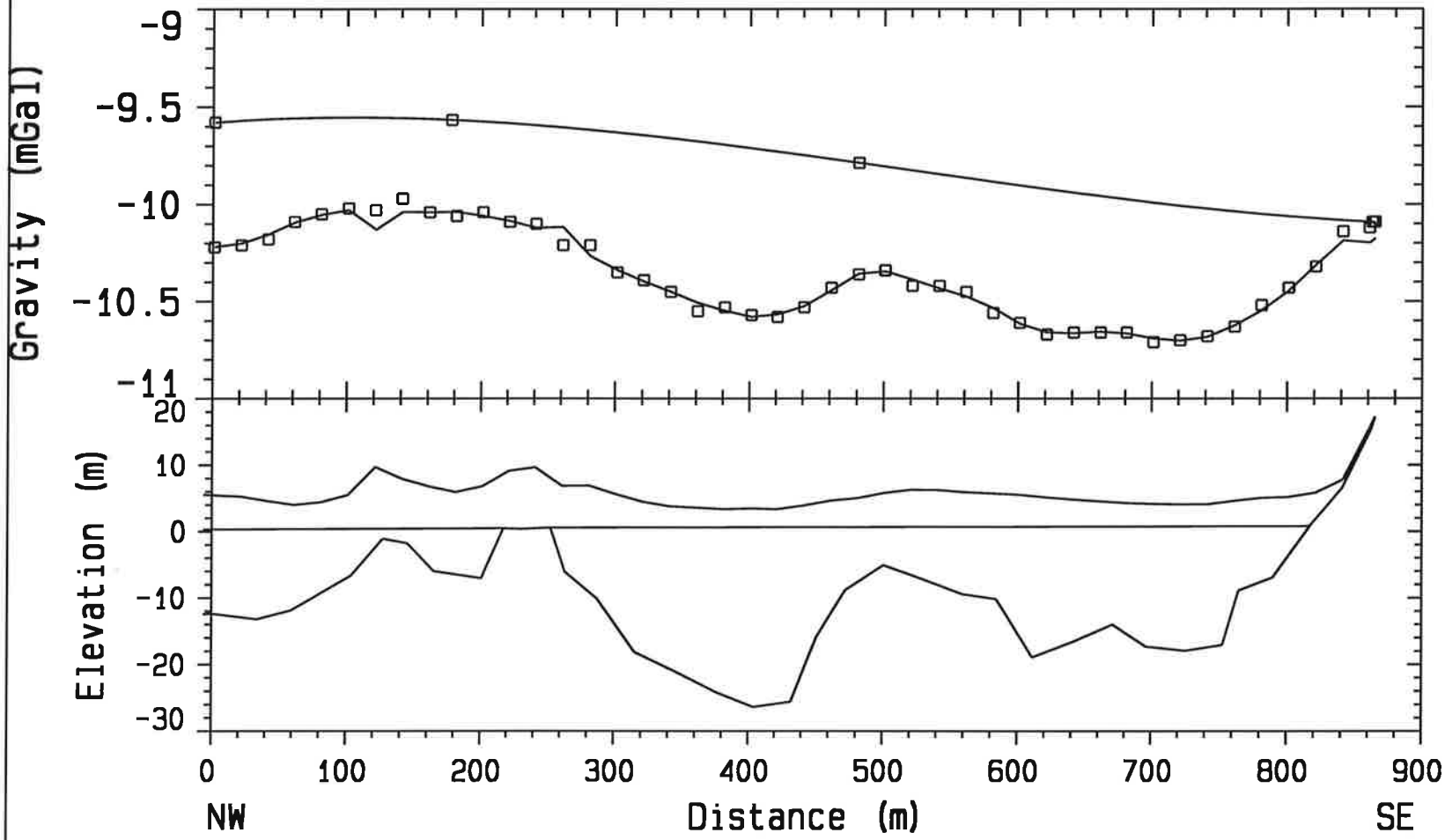
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6688456-6688885, 405952-406370
Data Set: 15	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 15	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.15



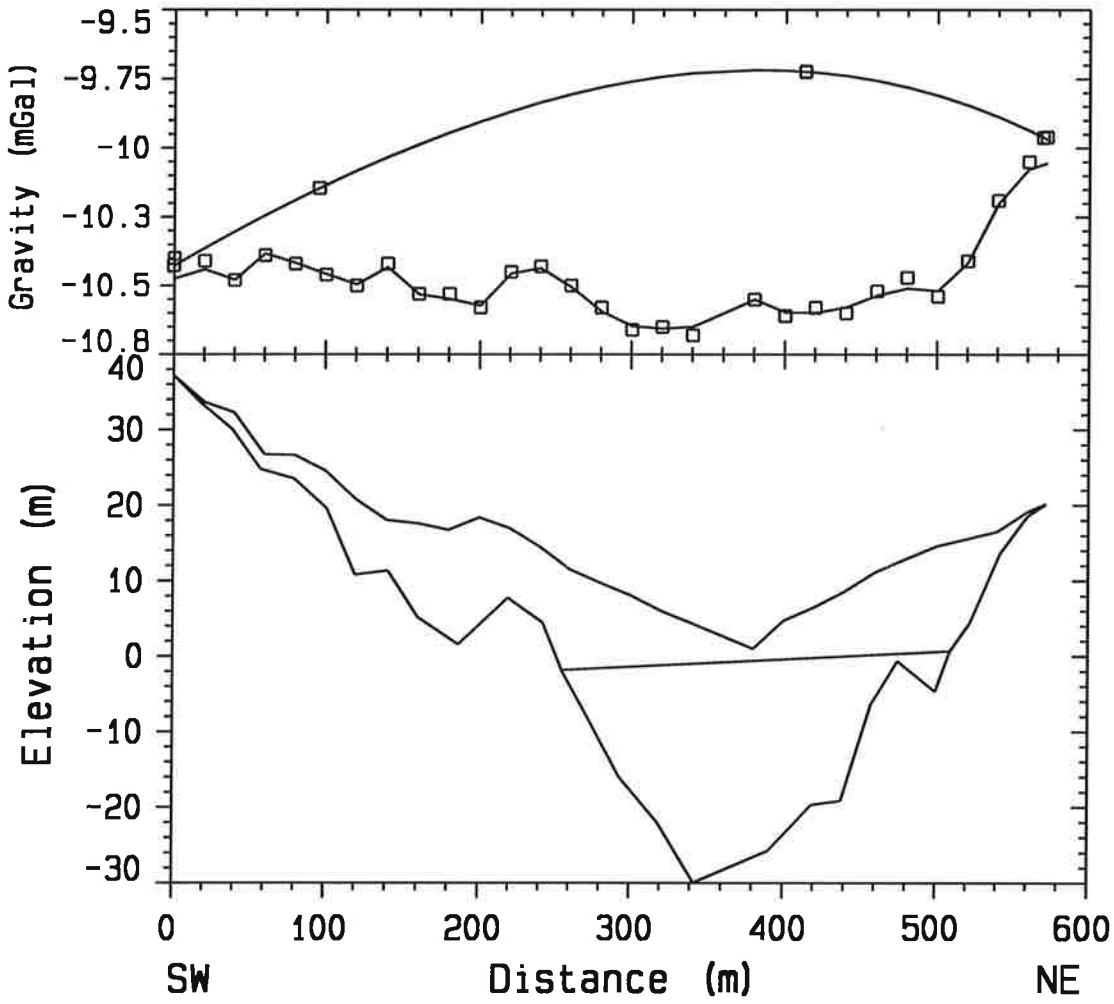
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690596-6690358, 404402-405163 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 16	Date: 10.06.2014	
	Profile: 16	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.16



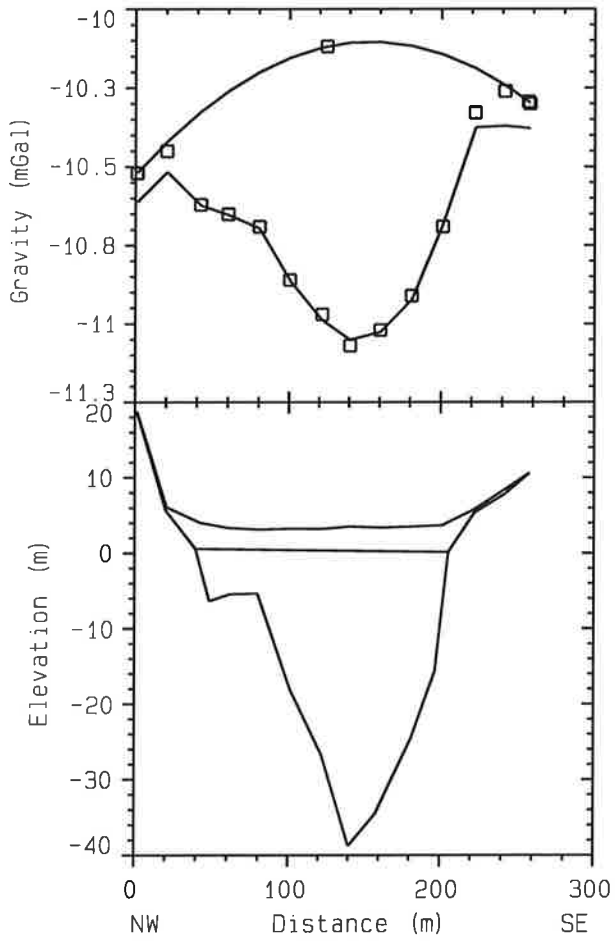
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690358-6689650, 405163-405658
Data Set: 17	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 17	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.17



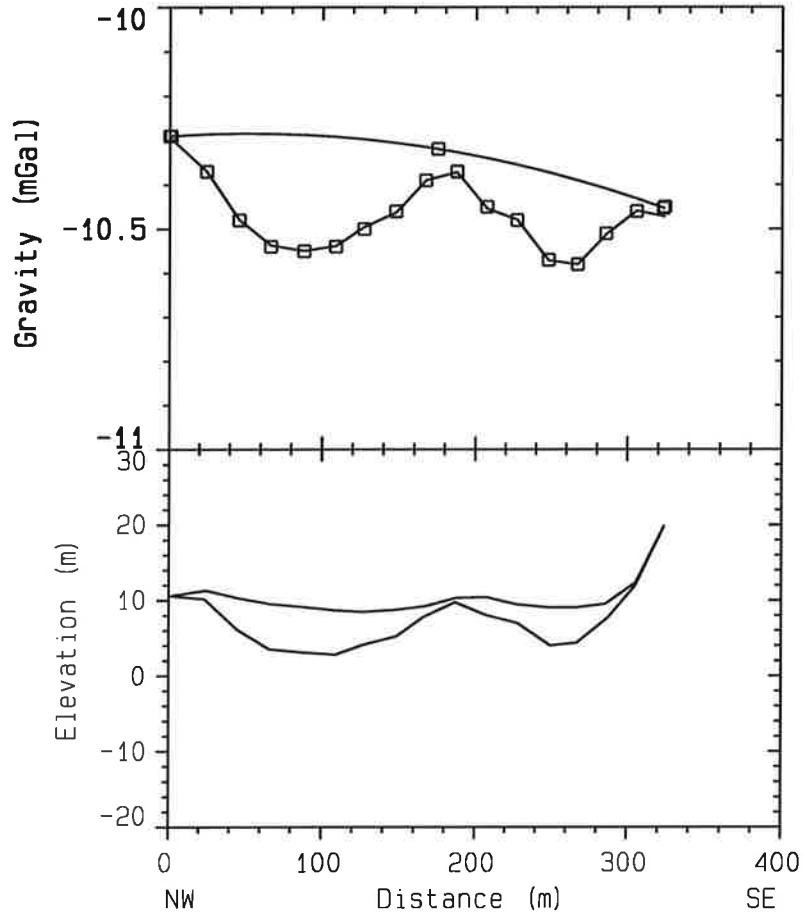
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6688959-6689182, 405502-406029
Data Set: 18	Date: 10.06.2014	Maapeitteen paksuustulkinta
	Profile: 18	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.18



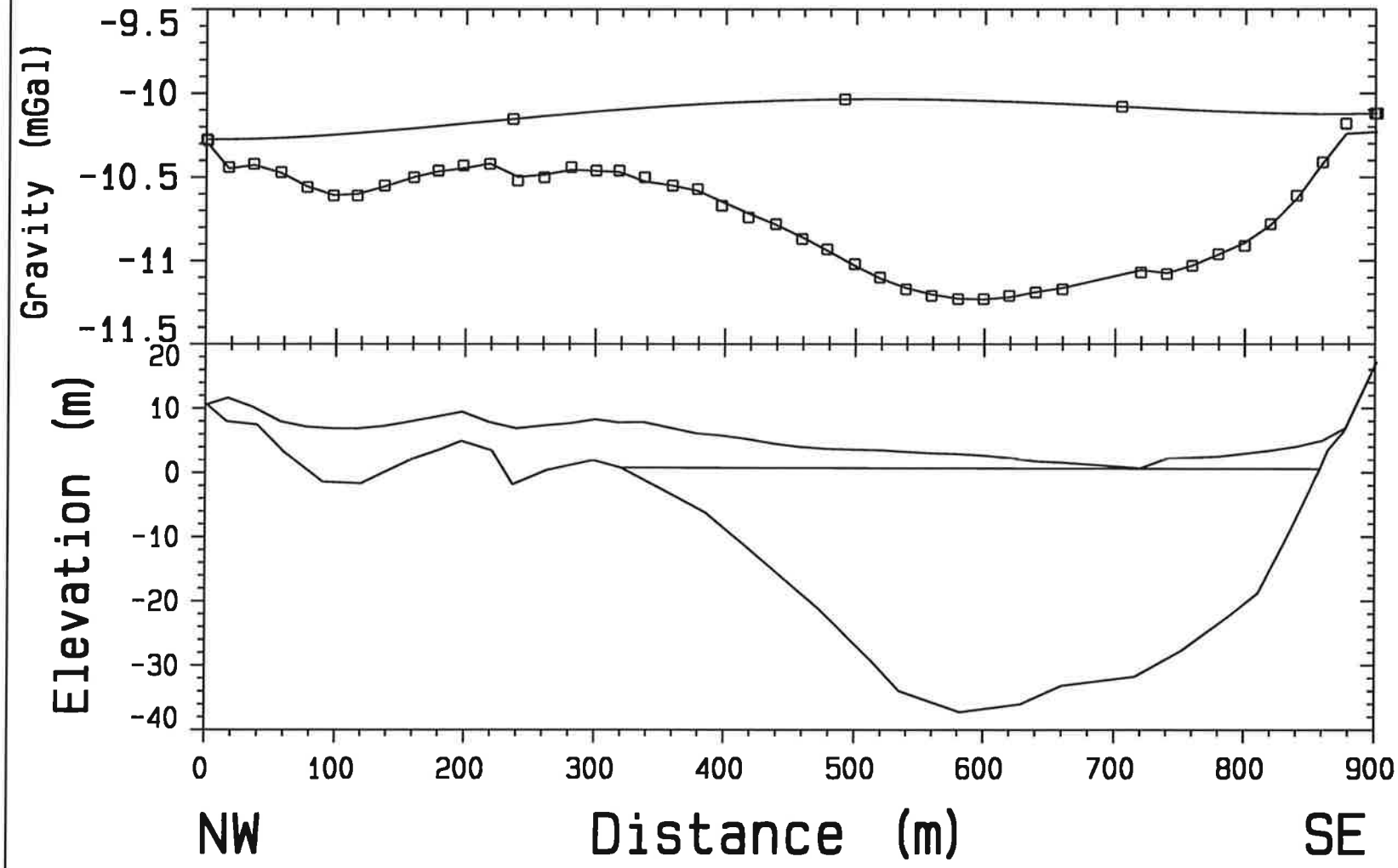
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690178-6690069, 404629-404861 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 19	Date: 10.06.2014	
	Profile: 19	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE9.19



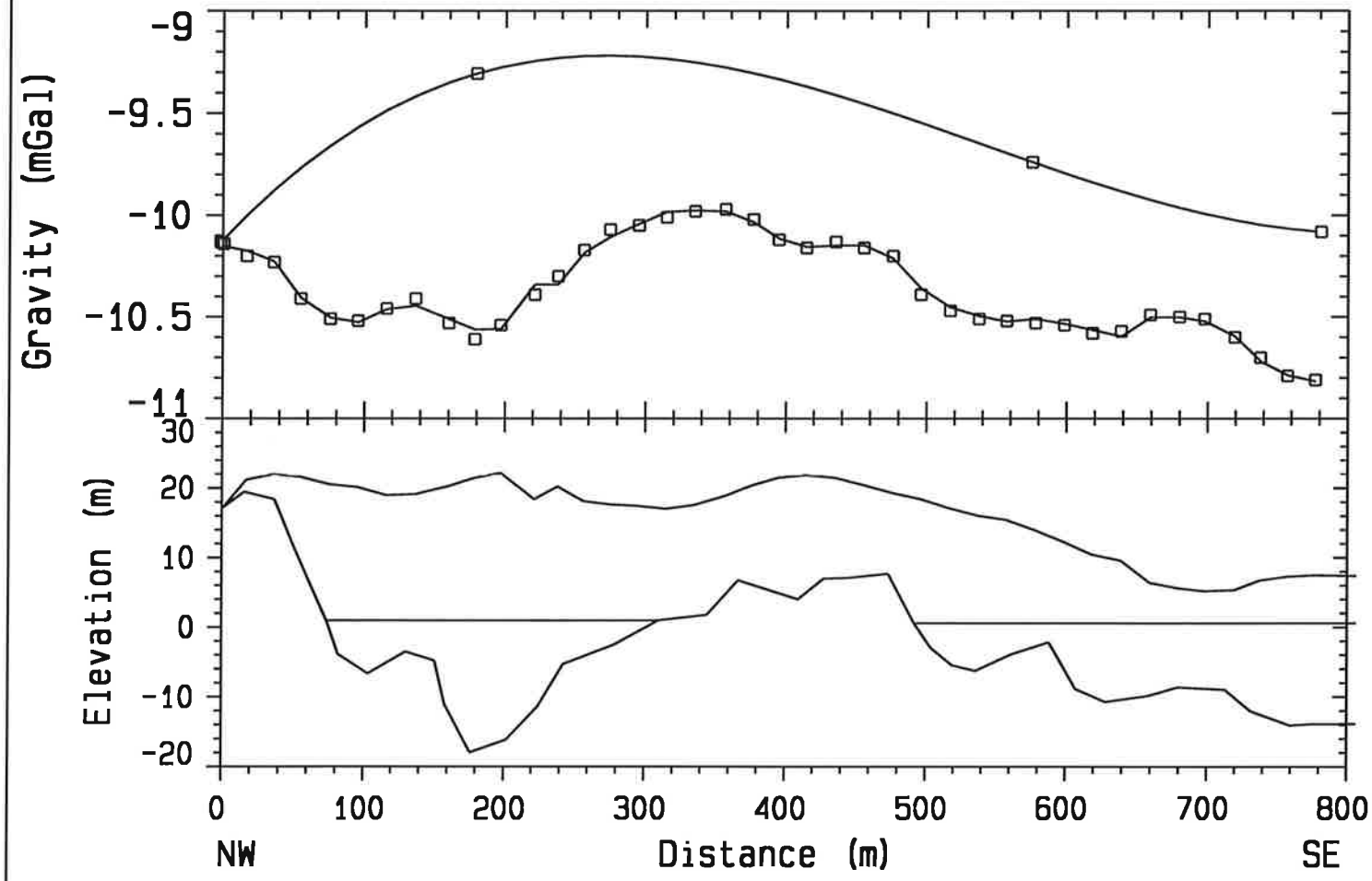
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690069-6689784, 404861-405012 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 20	Date: 10.06.2014	
	Profile: 20	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.20



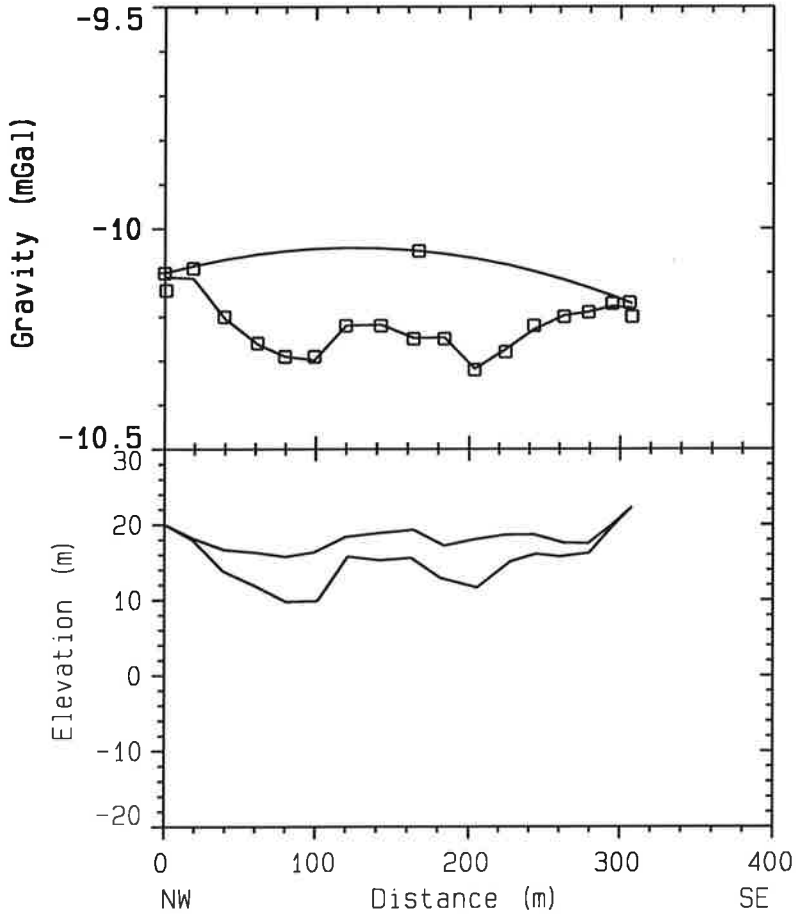
Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6690069-6689650, 404861-405658 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 21	Date: 10.06.2014	
	Profile: 21	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.21



Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6689650-6688981, 405658-406051 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 22	Date: 10.06.2014	
	Profile: 22	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.22



Sipoo Pomake		GTK/Geofysiikka/TV
Geologian Tutkimuskeskus		6689140-6688885, 406198-406370 Maapeitteen paksuustulkinta
Data Set: 23	Date: 10.06.2014	
	Profile: 23	Profile Scale: 1:5000 Vert. Exagg: 5.00:1

LIITE 9.23

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 5-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Jussi Ahonen	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:		**Asennuspäivä:**	20.5.2014

Koordinaatit:	**X:**	6693180
	Y:	3404210
	Z:	15.08
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	16.02
Siivilän alapään taso:	-7.92
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	52 / 60
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	0.94
Jatkoputken pituus:	11.00
Siivilän pituus:	12.00
Putken kokonaispituus:	23.94

Putki maanpinnasta:	0.94
Jatkoputken pituus:	11.0
Siivilän pituus:	12.0

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

Maalajit	
Syvyys [m]	**Maalaji**
0.0- 0.3	Hm
0.3- 4.9	Sa
4.9- 5.8	SiHk
5.8-11.4	Sr
11.4-11.6	Kivi
11.6-14.6	Sr
14.6-14.8	Kivi
14.8-15.8	Sr
15.8-16.5	Sr, kiviä >10cm
16.5-16.7	Kivi
16.7-22.5	Sr
22.5-22.9	Kivi
22.9-23.8	Mr
23.8-26.8	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

HAVAINNOT

Pvm.	**Syvyys putken-päästä**	**Pohjavesi-pinnan taso**	**Huom.**
20.5.14	13.95	2.07	
17.6.14	13.99	2.03	
28.10.14	14.16	1.86	
	Wmax =	2.07	
	Wmin =	1.86	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**x**
Vandaaliputki	**x**
Lukko	**Destia**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 0.5m - 1.5m
4.9m - 5.5m
6.5m - 7.5m

DESTIA

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 6-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Jussi Ahonen	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:		**Asennuspäivä:**	20.5.2014

Koordinaatit:	**X:**	6692892
	Y:	3403817
	Z:	4.50
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	5.37
Siivilän alapään taso:	-33.50
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	52 / 60
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	0.87
Jatkoputken pituus:	35.00
Siivilän pituus:	3.00
Putken kokonaispituus:	38.87

Putki maanpinnasta:	0.87
Jatkoputken pituus:	35.0
Siivilän pituus:	3.0

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 0.6	Hm
0.6-23.0	Sa
23.0-35.0	SaSi
35.0-37.4	Hk
37.4-40.4	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
20.5.14	3.50	1.87	
17.6.14	3.36	2.01	
28.10.14	3.58	1.79	
	Wmax =	2.01	
	Wmin =	1.79	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**x**
Vandaaliputki	**x**
Lukko	**Destia**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 1.0m - 2.0m
8.0m - 9.0m
22.0m-23.0m
36.0m-37.0m

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 8-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Jussi Ahonen	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:		**Asennuspäivä:**	15.5.2014

Koordinaatit:	**X:**	6690965
	Y:	3404296
	Z:	2.19
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	3.19
Siivilän alapään taso:	-54.01
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	52 / 60
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	1.00
Jatkoputken pituus:	52.20
Siivilän pituus:	4.00
Putken kokonaispituus:	57.20

Putki maanpinnasta:	1.00
Jatkoputken pituus:	52.2
Siivilän pituus:	4.0

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 0.3	Hm
0.3- 2.6	Si
2.6-26.2	Sa
26.2-52.0	siHk
52,0-56.5	Sr
56.5-56.7	Kivi
56.7-75.8	siMr,kiviä >10cm
MS	tangot loppui !

Maalajit ovat aistinvaraisia

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
15.5.14	1.57	1.62	
17.6.14	1.56	1.63	
28.10.14	2.14	1.05	
	Wmax =	1.63	
	Wmin =	1.05	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**x**
Vandaaliputki	**x**
Lukko	**Destia**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 0.3m - 1.0m
9.0m -10.0m
17.0m-18.0m
25.2m-26.2m
26.2m-27.2m
37.0m-38.0m

DESTIA

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 9-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Jussi Ahonen	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:		**Asennuspäivä:**	21.5.2014

Koordinaatit:	**X:**	6690355
	Y:	3405164
	Z:	5.44
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	6.40
Siivilän alapään taso:	-13.56
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	52 / 60
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	0.96
Jatkoputken pituus:	5.00
Siivilän pituus:	14.00
Putken kokonaispituus:	19.96

Putki maanpinnasta:	0.96
Jatkoputken pituus:	5.0
Siivilän pituus:	14.0

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 0.6	Sr, tien kerroksia
0.6- 2.6	Sa
2.6- 6.8	Sr
6.8- 8.2	Sr, kiviä >15cm
8.2-11.6	Sr
11.6-14.8	Sr, kiviä >15cm
14.8-17.8	Sr
17.8-20.8	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
21.5.14	6.28	0.12	
17.6.14	5.88	0.52	
28.10.14	6.71	-0.31	
	Wmax =	0.52	
	Wmin =	-0.31	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**x**
Vandaaliputki	**x**
Lukko	**Destia**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 1.0m - 2.0m
3.0m - 4.0m
9.7m-10.2m

DESTIA

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 15-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Timo Friman	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:	050 597 8887	**Asennuspäivä:**	18.11.2014

Koordinaatit:	**X:**	6694626
	Y:	3404332
	Z:	11.51
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	12.41
Siivilän alapään taso:	-4.49
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	60 / 52
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	0.90
Jatkoputken pituus:	13.00
Siivilän pituus:	3.00
Putken kokonaispituus:	16.90

Putki maanpinnasta:	0.90
Jatkoputken pituus:	13.0
Siivilän pituus:	3.0

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 14.8	Hk
14.8-15.6	Sa
15.6-18.6	Ka

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

Maalajit ovat aistinvaraisia

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
18.11.14	8.68	3.73	
21.11.14	8.70	3.71	
	Wmax =	3.73	
	Wmin =	3.71	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**X**
Vandaaliputki	**X**
Lukko	**X**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 1.5m - 2.5m
14.8m-15.6m

DESTIA

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 16-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Timo Friman	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:	050 597 8887	**Asennuspäivä:**	17.11.2014

Koordinaatit:	**X:**	6694078
	Y:	3403940
	Z:	11.18
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	11.18
Siivilän alapään taso:	#VALUE!
Putkimateriaali:	
Putken halkaisija, mm:	
Siivilän rako, mm:	
Vandaaliputken materiaali:	
Maanpäällinen putki	
Jatkoputken pituus:	
Siivilän pituus:	
Putken kokonaispituus:	#VALUE!

Putki maanpinnasta:	
Jatkoputken pituus:	
Siivilän pituus:	

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 0.4	Hm
0.4- 9.2	Sa
9.2-10.8	Mr
10.8-11.2	Kivi
11.2-11.4	Mr
11.4-14.4	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
	Wmax =	0.00	
	Wmin =	0.00	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	
Vandaaliputki	
Lukko	
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 1.5m - 2.5m
9.5m -10.5m

Ei vettä läpäiseviä maakerroksia.
Ei asennettu putkea.

DESTIA

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 17-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Timo Friman	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:	050 597 8887	**Asennuspäivä:**	17.11.2014

Koordinaatit:	**X:**	6690043
	Y:	3404753
	Z:	3.34
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	4.17
Siivilän alapään taso:	-24.96
Putkimateriaali:	PEH
Putken halkaisija, mm:	60 / 52
Siivilän rako, mm:	0.30
Vandaaliputken materiaali:	Fe 89
Maanpäällinen putki	0.83
Jatkoputken pituus:	23.30
Siivilän pituus:	5.00
Putken kokonaispituus:	29.13

Putki maanpinnasta:	0.83
Jatkoputken pituus:	23.3
Siivilän pituus:	5.0

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 0.4	Hm
0.4-13.4	Sa
13.4-23.0	hHk
23.0-28.2	Sr
28.2-31.2	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

HAVAINNOT

Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
17.11.14	1.84	2.33	
21.11.14	1.37	2.80	
	Wmax =	2.80	
	Wmin =	2.33	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	**x**
Vandaaliputki	**x**
Lukko	**Destia**
Suodatinsukka	

Huomautukset

Näytteet : 1.5m - 2.5m
16.0m -17.0m

MITTAUS- JA ASENNUSKORTTI 2014

Projekti:	Sipoo	**Kairakone:**	GM 200, 283765
Putken numero:	GTK 18-14	**Asentaja:**	Simo Murto
Asiakkaan viite:	Timo Friman	**Puhelin:**	040 5295660
Puhelin:	050 597 8887	**Asennuspäivä:**	19.11.2014

Koordinaatit:	**X:**	6691184
	Y:	3404320
	Z:	3.04
Koordinaattijärjestelmä:		YKJ N60

TASOTIEDOT JA RAKENNE

Putken yläpään taso:	3.04
Siivilän alapään taso:	#VALUE!
Putkimateriaali:	
Putken halkaisija, mm:	
Siivilän rako, mm:	
Vandaaliputken materiaali:	
Maanpäällinen putki	
Jatkoputken pituus:	
Siivilän pituus:	
Putken kokonaispituus:	#VALUE!

Putki maanpinnasta:	
Jatkoputken pituus:	
Siivilän pituus:	

Maalajit

Syvyys [m]	Maalaji
0.0- 6.5	Si
6.5-11.0	Sa
11.0-22.2	siHk
22.2-29.2	Hk
29.2-47.6	Sr
47.6-50.6	SrMr
50.6-51.0	Kivi
51.0-52.6	SrMr
52.6-53.2	Kivi
53.2-63.2	Mr
63.2-63.8	Kivi
63.8-67.2	Mr
67.2-70.2	Ka

Maalajit ovat aistinvaraisia

Toimivuustesti

1min		
3min		
5min		
10min		

HAVAINNOT

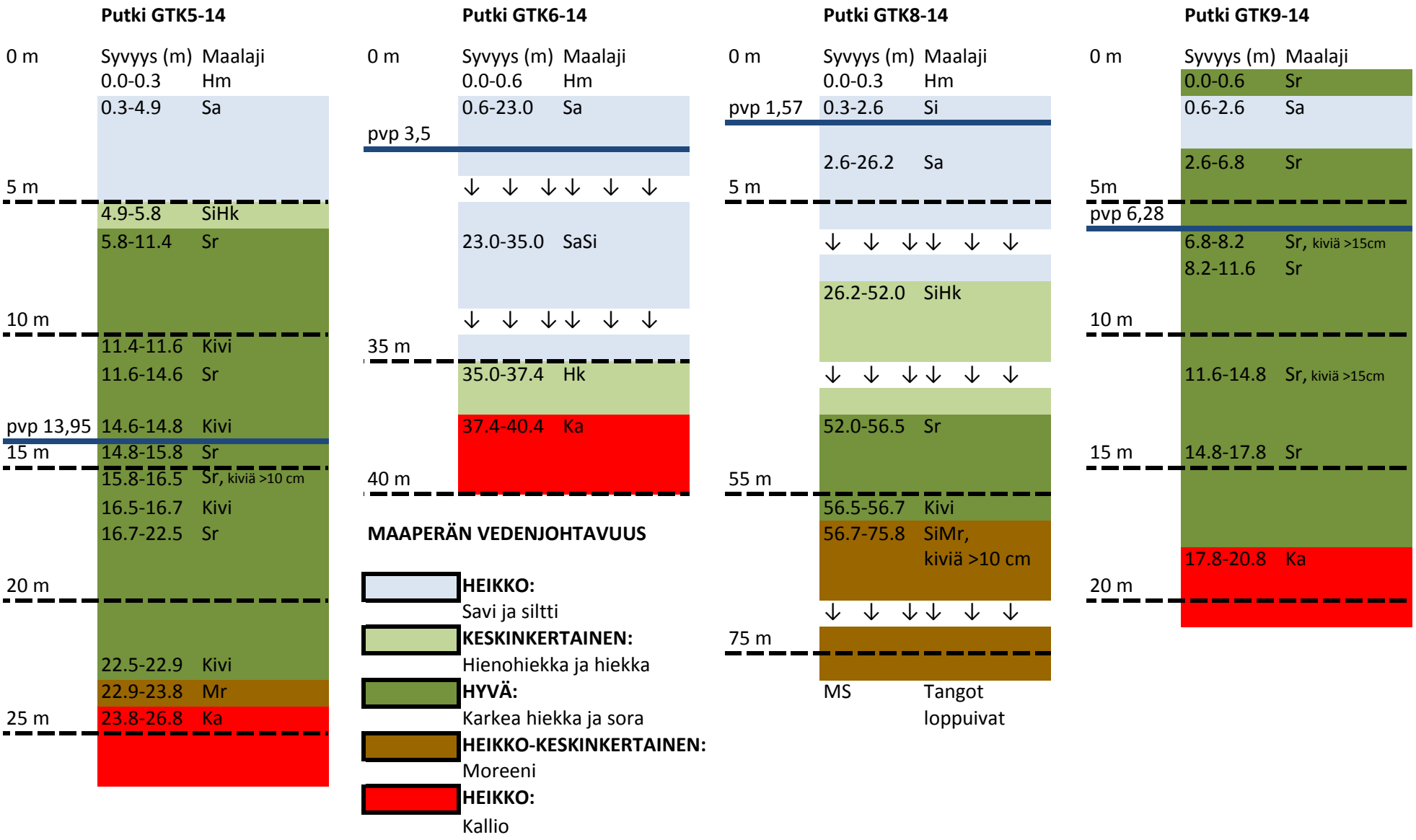
Pvm.	Syvyys putken-päästä	Pohjavesi-pinnan taso	Huom.
19.11.14	2.30	0.74	maanpinnasta
	Wmax =	0.74	
	Wmin =	0.74	

Lisäosat	Kyllä (X)
Routapanta	
Vandaaliputki	
Lukko	
Suodatinsukka	

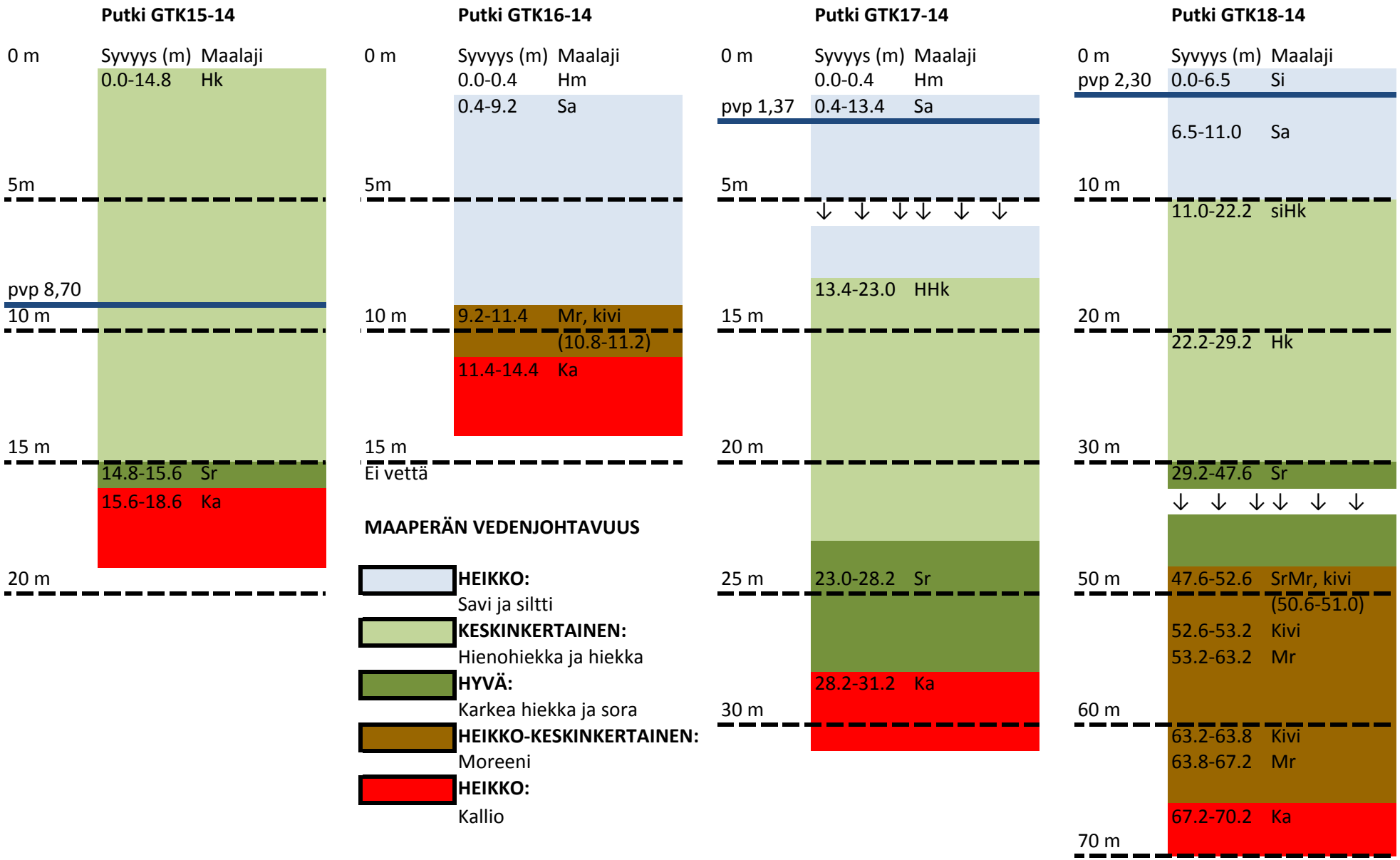
Huomautukset

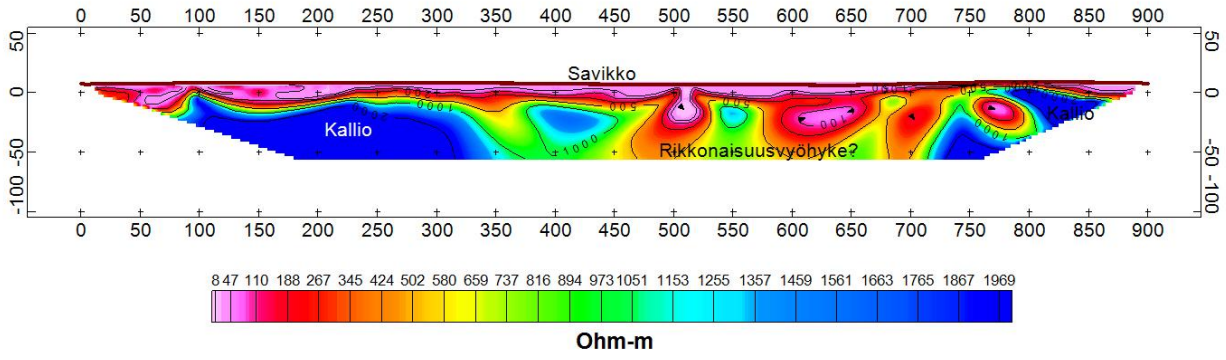
Näytteet : 2.0m - 3.0m
10.0m -11.0m
30.0m -31.0m

Sipoon kairaustulosten maalajihavainnot



Sipoon kairaustulosten maalajihavainnot



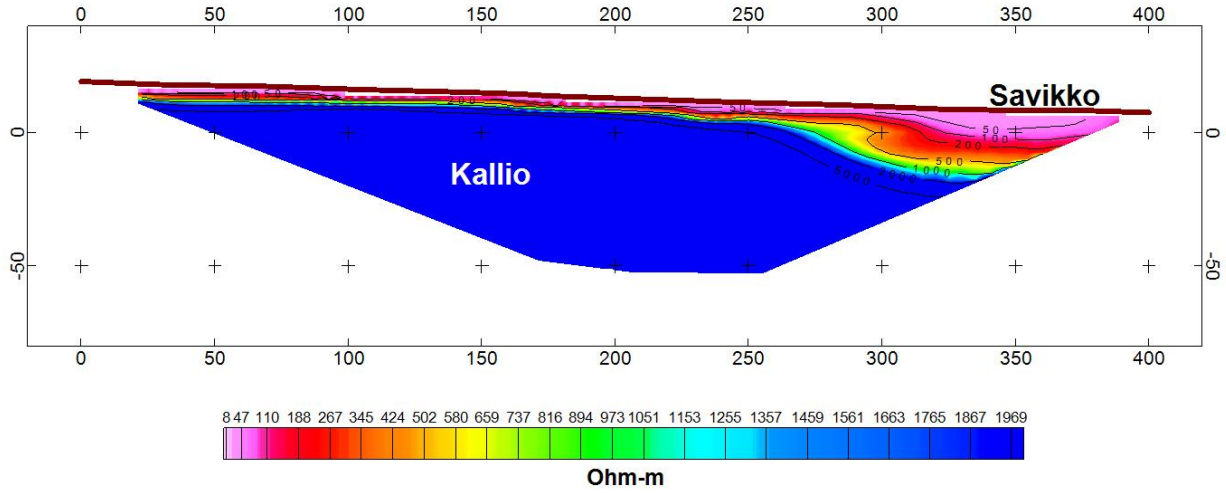


Scale 1:4500

50 0 50 100 150

(meters)

Pomake - Sipoo Monielektrodiluotaus Linja 1
T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014



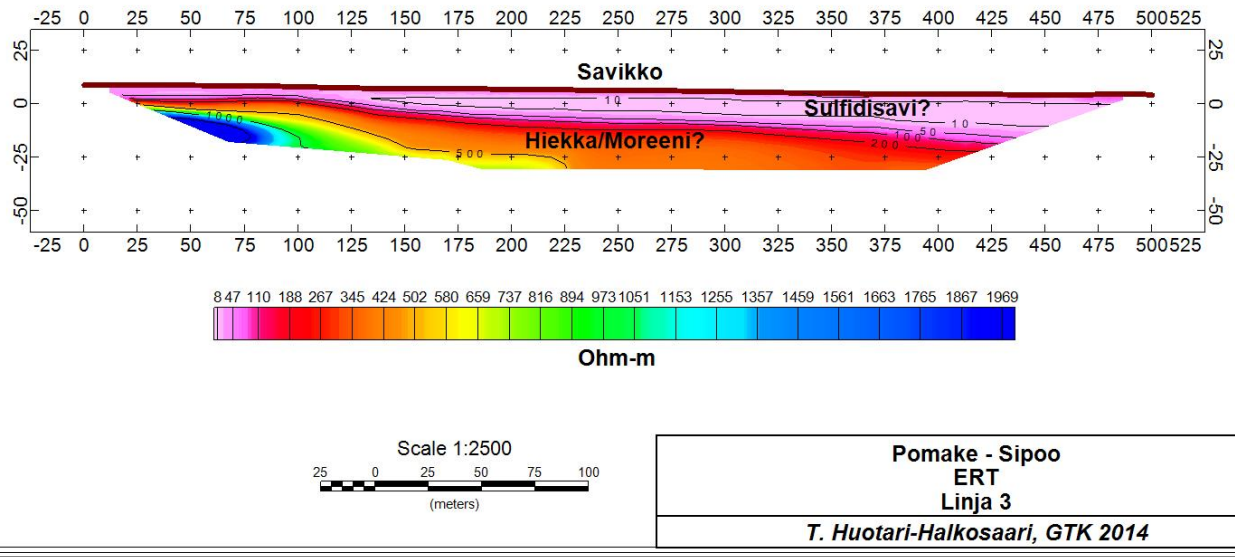
Scale 1:2000

25 0 25 50 75

(meters)

Pomake - Sipoo ERT Linja 2
T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014

LIITE 12.1



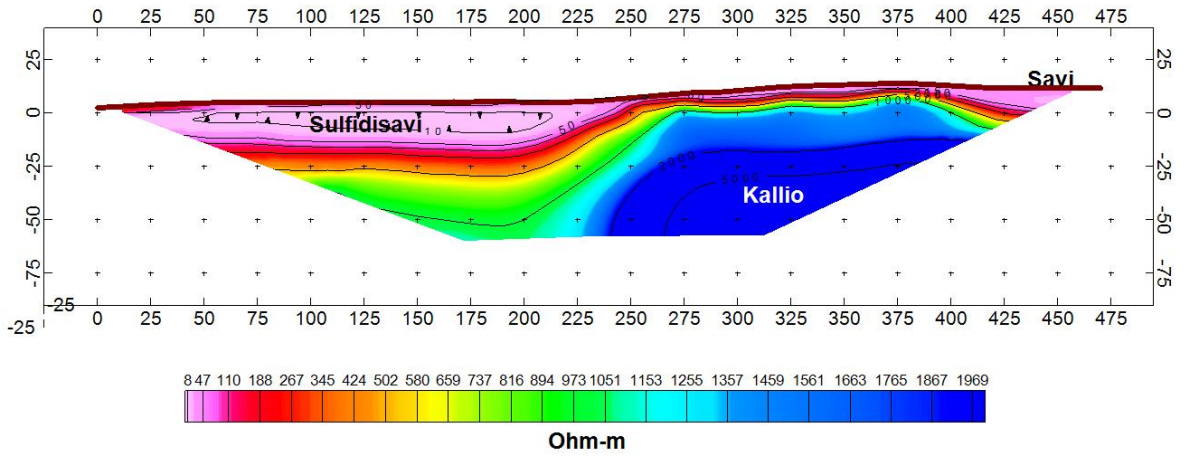
Scale 1:2500

25 0 25 50 75 100

(meters)

Pomake - Sipoo
ERT
Linja 3

T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014



Scale 1:2500

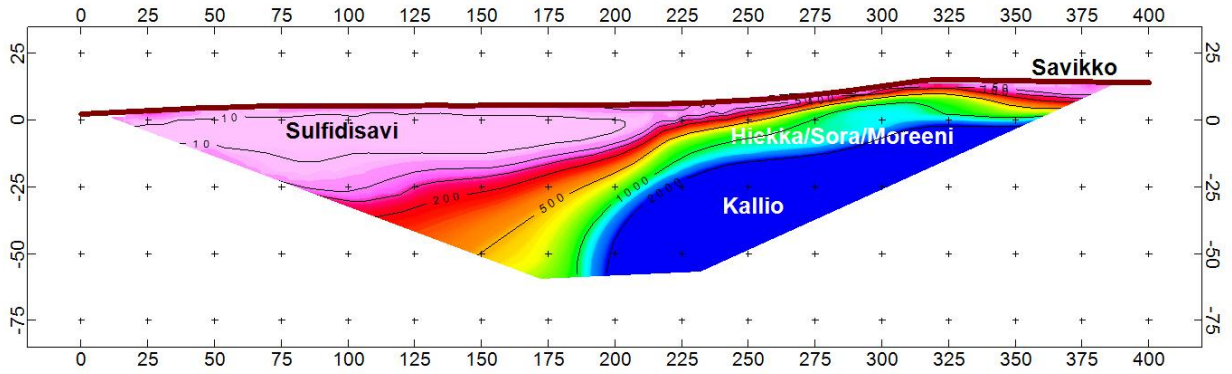
25 0 25 50 75 100

(meters)

Pomake - Sipoo
ERT
Linja 4

T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014

LIITE 12.2

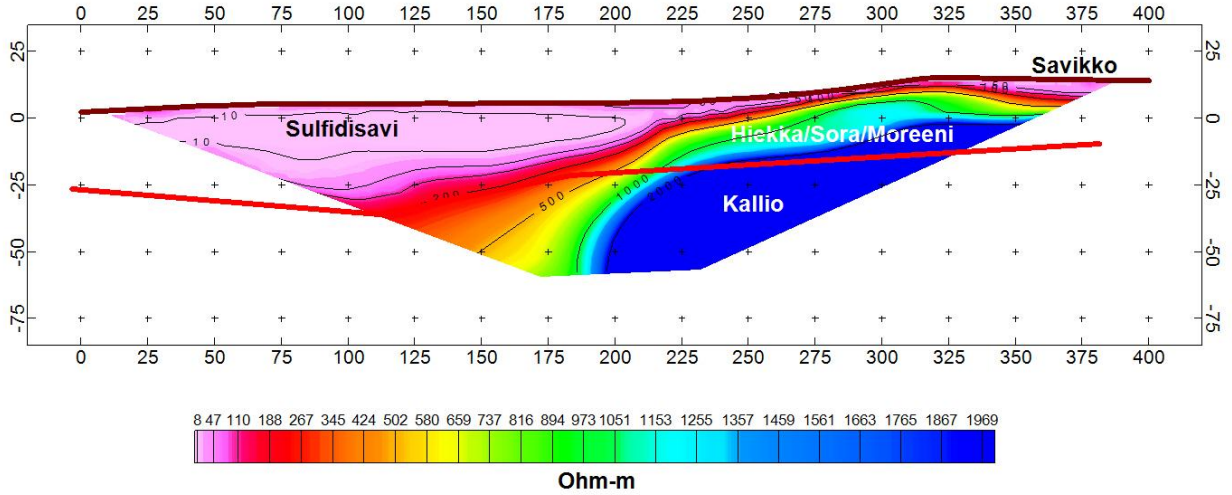


Scale 1:2000

(meters)

Pomake - Sipoo
ERT
Linja 5

T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014



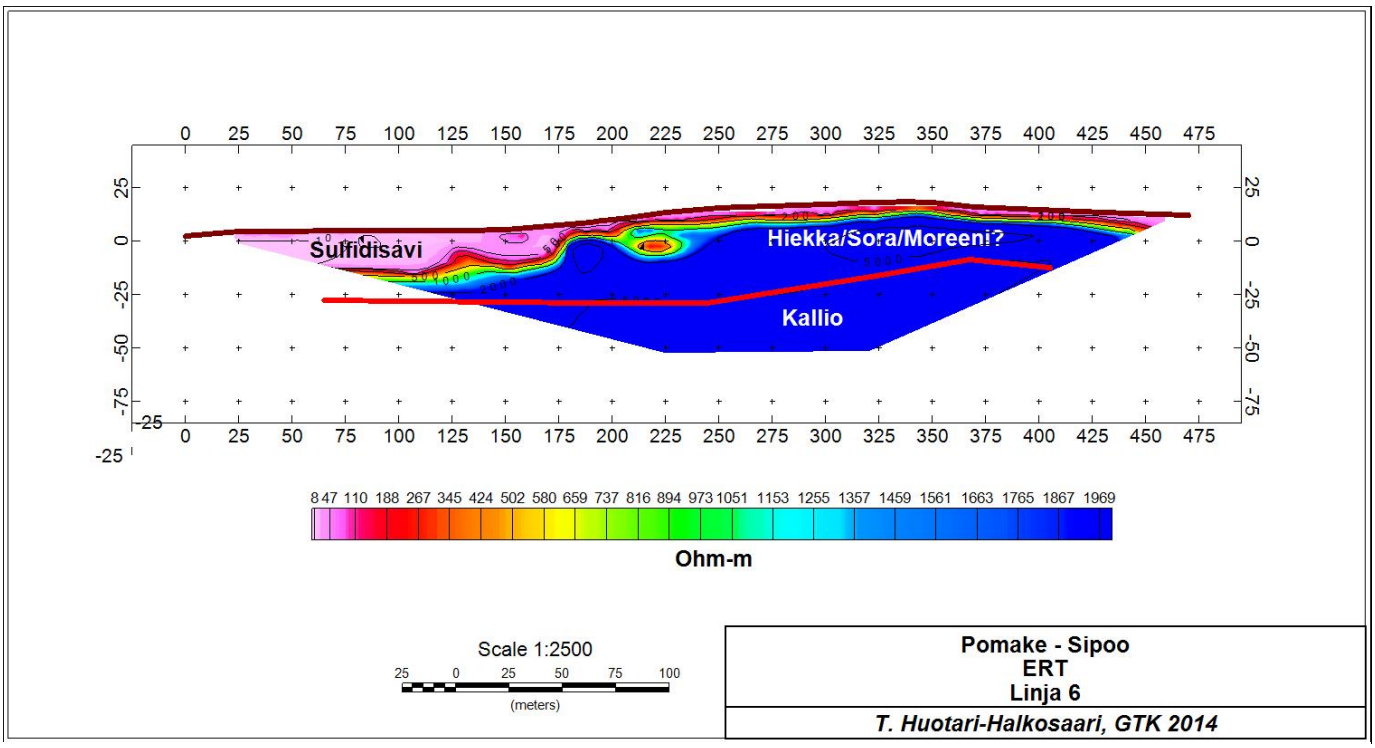
Scale 1:2000

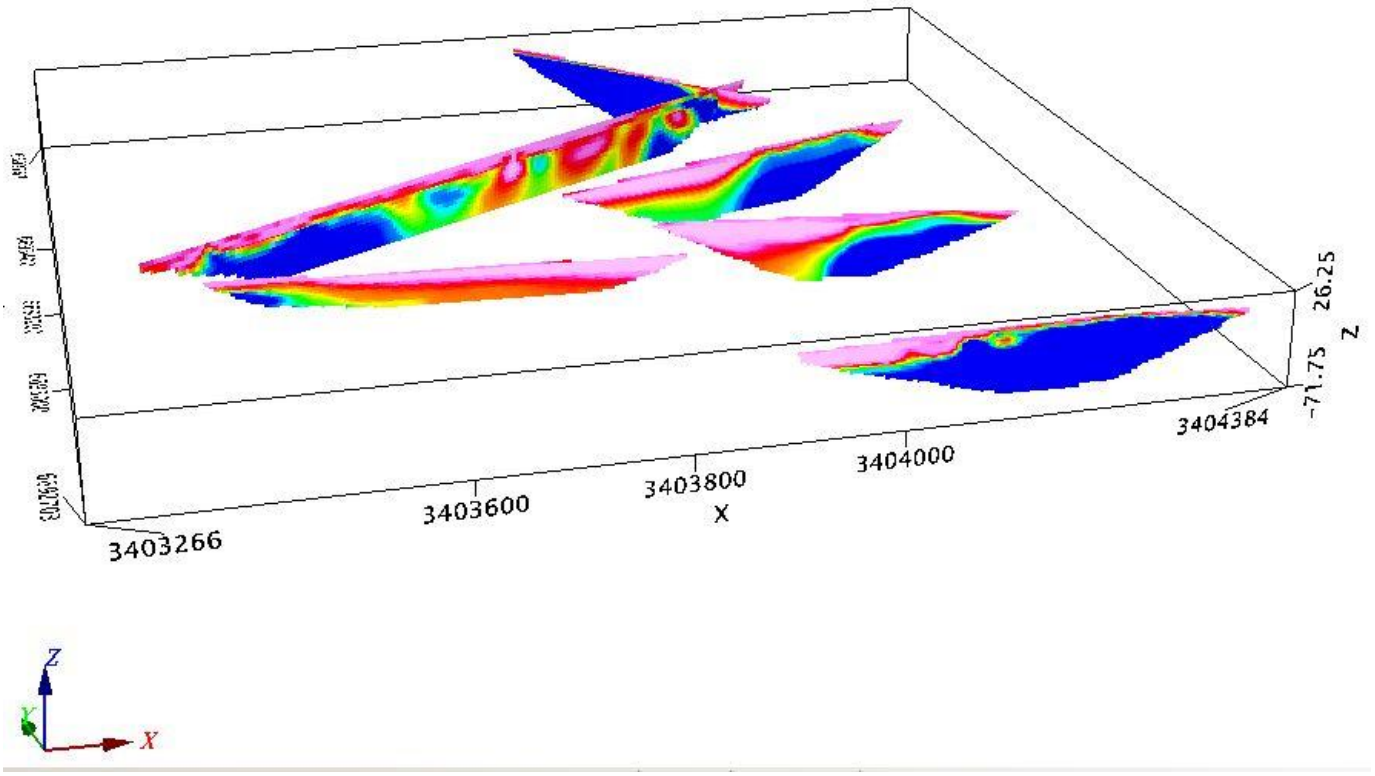
(meters)

Pomake - Sipoo
ERT
Linja 5

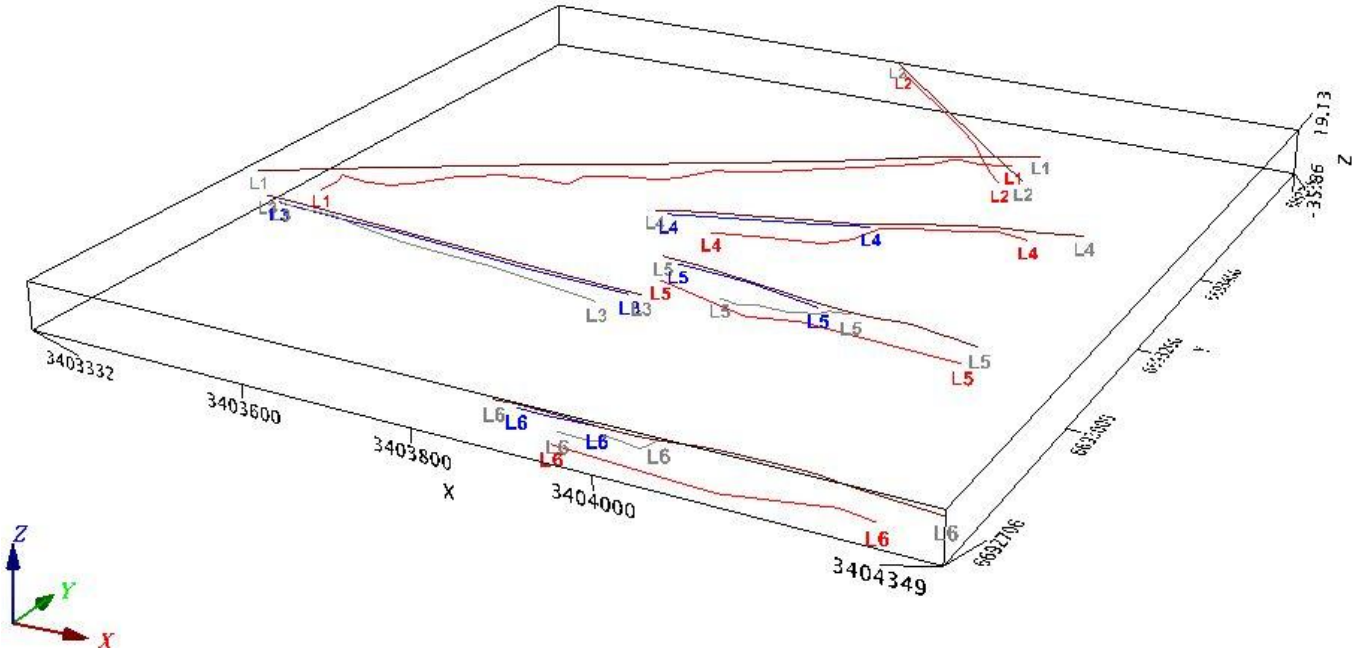
T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014

LIITE 12.3

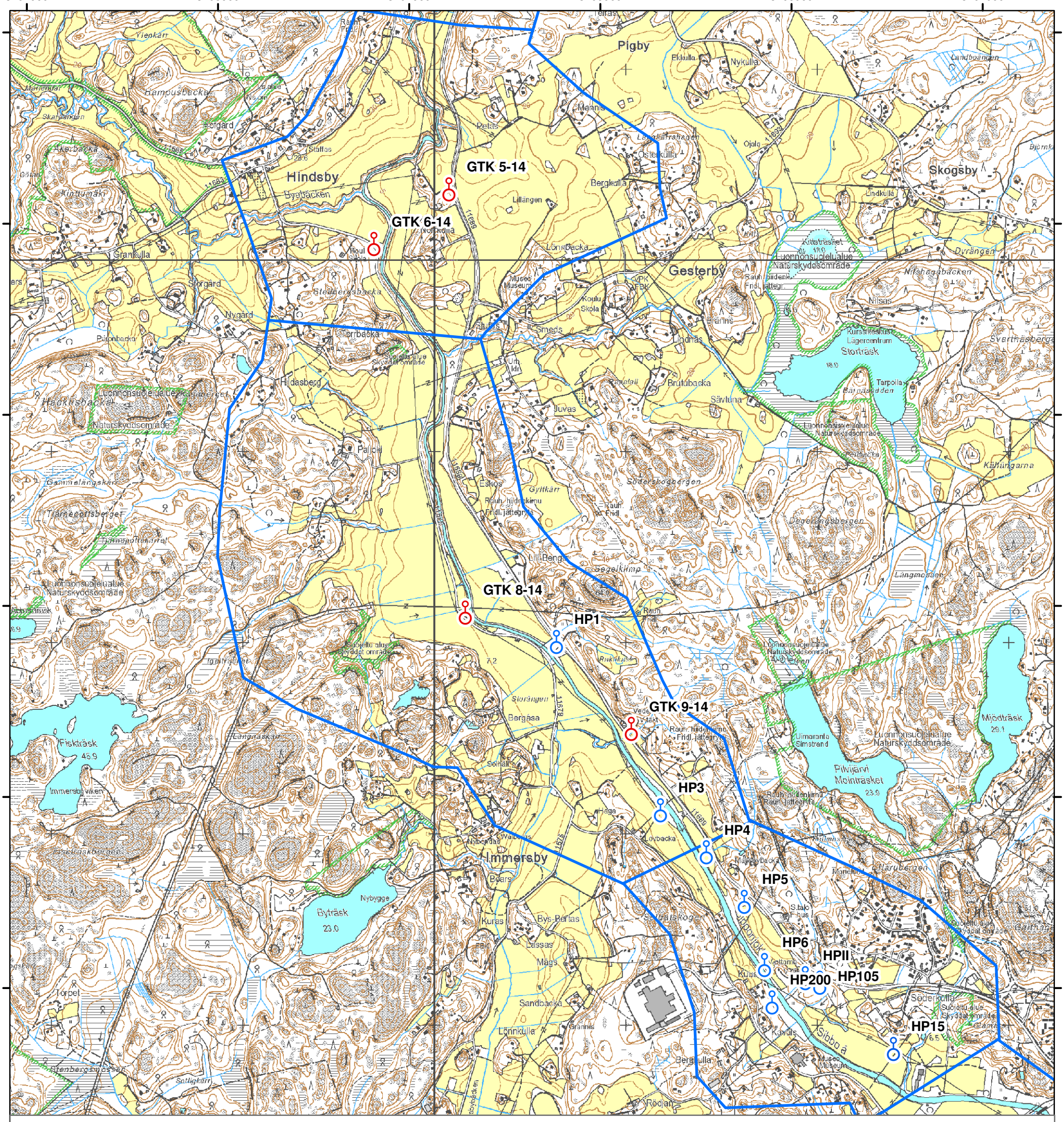

Sulfidisavi
Hiekka/Sora/Moreeni?
Kallio
Ohm-m
Scale 1:2500
(meters)
Pomake - Sipoo
ERT
Linja 6
T. Huotari-Halkosaari, GTK 2014


3403266
3403600
3403800
X
3404000
3404384
26.25
-71.75
Z

LIITE 12.4


L1
L2
L3
L4
L5
L6
3403332
3403600
3403800
3404000
3404349
X
Z
19.13
Z
Y
X

LIITE 12.5



Putken tunnus	Pvm	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	F (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	T (°C)	U (mV)	pH	EC (mS/m)	O2 (mg/l)	CO2 (mg/l)	väri (0-3)	sameus (0-3)
GTK5-2014	29.10.2014	<0.1	27.00	0.56	118.00	<0.2	7.80	-19.00	6.70	50.10	0.20	34.00	0.00	1.00
GTK6-2014	28.10.2014	1.12	409.00	0.48	2.15	<0.2	7.20	-68.00	7.00	101.00	0.00	32.00	0.00	0.00
GTK8-2014	28.10.2014	0.30	19.80	0.43	30.70	0.34	7.40	-229.00	7.00	34.50	0.00	28.00	0.00	0.00
HP1	29.10.2014	0.35	34.30	0.31	51.80	0.43	7.60	60.00	6.20	29.80	1.10	45.00	0.00	0.00
GTK9-2014	29.10.2014	<0.1	4.54	0.11	10.40	1.80	6.40	255.00	5.40	6.90	8.70	30.00	0.00	0.00
HP3	29.10.2014	0.39	38.30	0.53	25.90	<0.2	7.20	-174.00	7.30	44.80	0.20	11.00	3.00	3.00
HP4	29.10.2014	<0.1	23.00	0.39	65.20	<0.2	7.80	-39.00	6.40	35.10	0.00	35.00	1.00	1.00
HP5	29.10.2014	<0.1	135.00	<0.1	24.90	1.79	7.10	201.00	6.00	50.90	4.10	25.00	1.00	1.00
HP6	30.10.2014	0.48	68.80	0.36	43.60	<0.2	7.20	3.00	6.50	46.80	0.00	34.00	0.00	0.00
HP200	28.10.2014	<0.1	37.00	0.26	41.80	<0.2	7.80	-15.00	6.40	35.10	0.00	55.00	1.00	2.00
HPII	30.10.2014	0.33	65.70	0.36	42.00	<0.2	6.80	23.00	6.40	41.70	0.00	45.00	0.00	0.00
HP105	30.10.2014	<0.1	18.80	0.13	32.20	12.00	6.80	197.00	5.90	25.40	4.30	85.00	0.00	0.00
HP15	30.10.2014	0.51	53.60	0.43	33.40	<0.2	7.30	-158.00	6.70	39.90	0.00	40.00	0.00	0.00

LIITE 13

KALLIOPERÄN RIKKONAISUUDESTA INKOON TORPISSA JA SIPOON HINDSBYSSÄ

Matti Pajunen

1. Johdanto

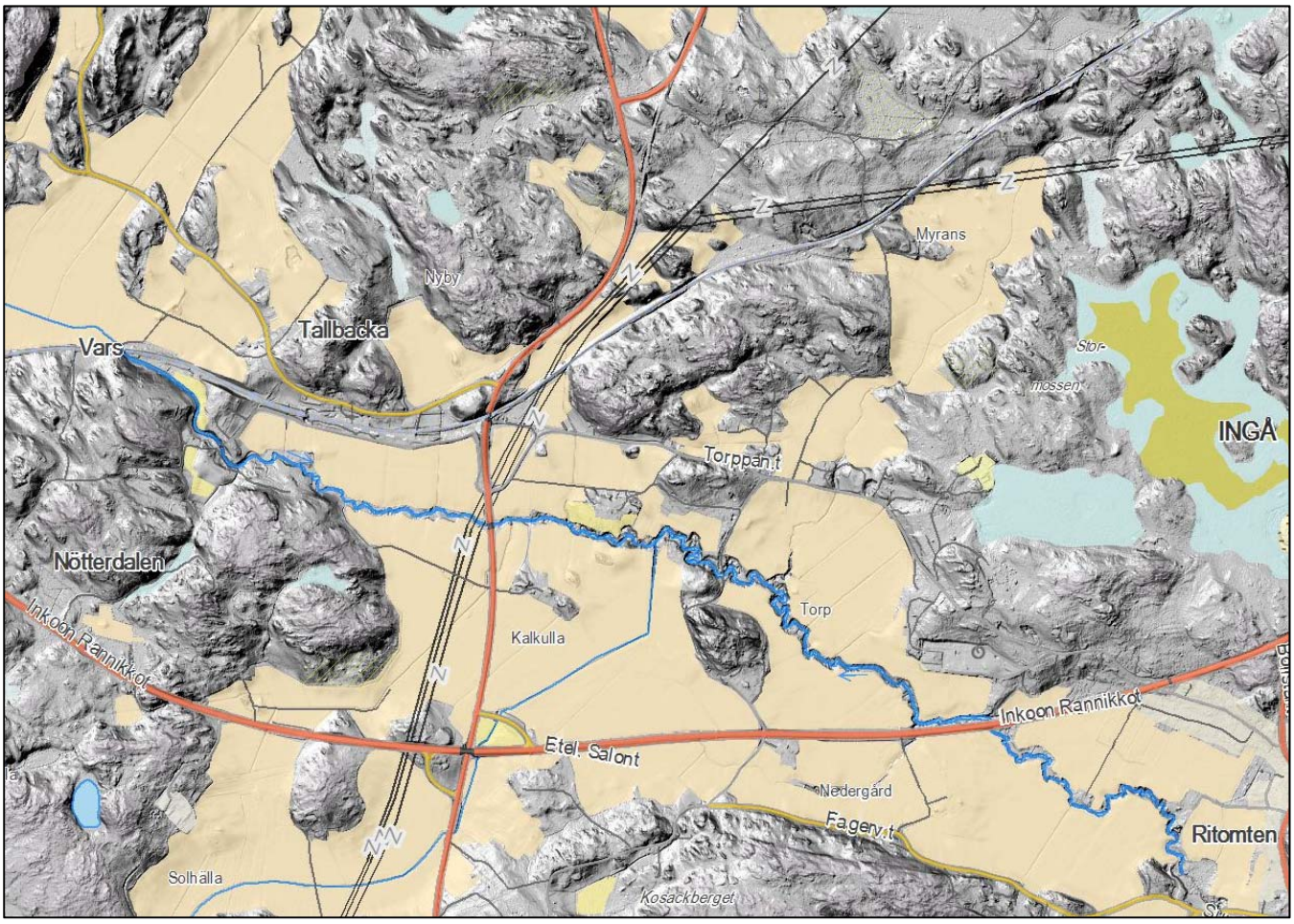
Tämä on yleiskatsaus kallioperän tektoniseen rakenteeseen ja rikkonaisuuteen Inkoon Torpin ja Sipoon Hindsbyn alueilla. Tarkoituksena on kuvata kalliopohjaveden liikkeitä säätelevien kalliorakenteiden esiintymistä kohdealueilla. Lokakuussa 2014 kirjoittaja teki Torpin alueelle kahden ja Hindsbyn alueelle neljän päivän maastokäynnit. Niiden aikana tarkasteltiin tutkimusalueiden kallioperän rakenteita lähinnä tieleikkauksilta. Systemaattista kartoitusta ei tehty. Kallioperän rikkonaisuushavaintoja rinnastetaan ja tulkitaan aikaisemmin alueilta tunnettujen rakenteiden perusteella. Tarkempi analyysi edellyttäisi alueelta huomattavasti perusteellisempia kenttätöitä ja rakenteiden tulkintaa. Sääolosuhteet estivät kohteiden valokuvaamisen, joten alueilta esitetyt kuvat ovat aikaisempaa perua varsinaisten tutkimusalueiden ulkopuolelta.

Tutkimusalueilta on käytettävissä 1:100 000 mittakaavaiset kallioperäkartat. Inkoon tilapäinen kallioperäkarttalehti on tehty pikakartoituksena, joten tektonisia merkintöjä rakenteellisen tulkinnan tueksi ei ole (Koistinen 1991 ja 1992). Skytän (2007) väitöstyön laaja-alainen rakennetulkinta ulottuu myös Inkoon tutkimusalueelle, mutta senkin havaintoaineisto on tutkimusalueelta hyvin rajallinen. GTK teki vuonna 2014 tutkimusalueen eteläpuolelta Joddbölen alueelta kallioperän rikkonaisuusselvityksen, jonka tektoninen tulkinta ulottuu osin tutkimusalueelle, mutta sen kaikki maastohavainnot tehtiin tutkimusalueen eteläpuolelta (Wennerström ja muut 2014). Sipoon alueelta on perinteinen kallioperäkartta 1:100 000 selityksineen (Härme 1969 ja 1978). Lisäksi sieltä on käytettävissä "Helsingin seudun taajamakartoitus" -projektin aineistot (Wennerström ja muut 2006). Selvityksessä hyödynnettiin laseraineistoon pohjautuvaa korkeusmallia ja erilaisia magneettisen aineiston modifikaatioita. Karttatulkintoja voitiin sitoa pääkaupunkialueella tehtyihin tarkempiin rakenteellisiin tutkimuksiin (Pajunen ed. 2008, Pajunen ja muut 2002, 2007 sekä Laine ja muut 2013).

2. Tutkimusalueet

2.1. Inkoo

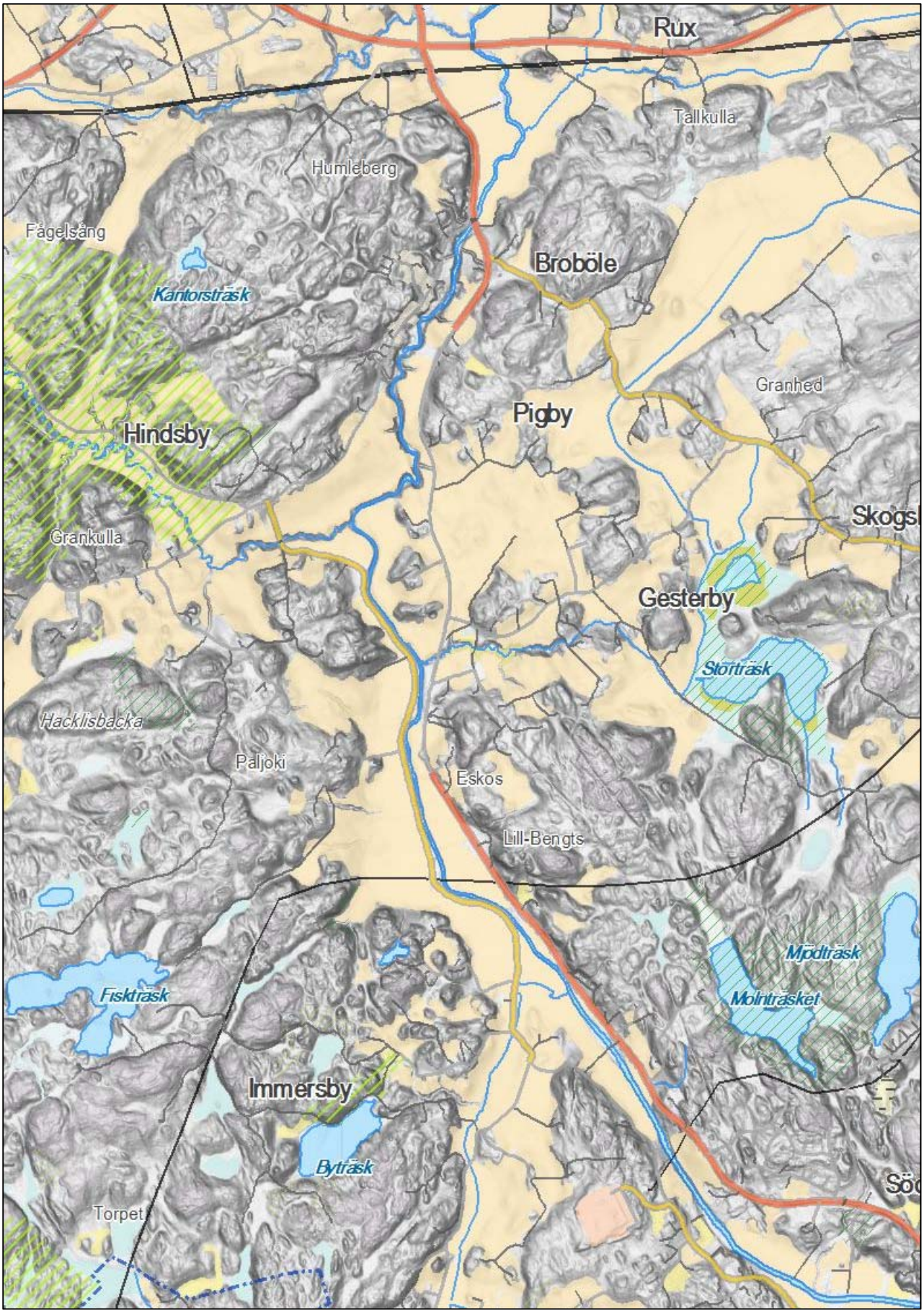
Inkoon tutkimusalue on kooltaan n. 17 km^2 (Kuva 1). Alue jakautuu Inkoonjoen savikkolaaksoa pitkin kallioalueisiin, joita luonnehtivat laajat paljastumaselänteet ja usein niitä teräväpiirteisesti lohkovat suunniltaan vaihtelevat notkot. Topografia on melko jyrkkäpiirteistä kallioalueiden rajautuessa usein jyrkästi savikkoalueisiin. Tutkimusalueen eteläpuolen maastotutkimuksissa todettiin, että kallioalueiden yleinen topografia on huomattavilta osin vanhan svekofennisen duktiilin rakenteen seurausta. Vanhaa rakennetta ruhjovat nuoremmat duktiilit, sittemmin hauraasti deformoituneet siirrokset ja rakoiluvyöhykkeet, jotka erottuvat korkokuvassa kapeina laaksopainanteina.



Kuva 1. Inkoon Torpin tutkimusalue.

2.2. Sipoo

Sipoon alue on kooltaan noin 45 km^2 (Kuva 2). Alueen korkokuvaa luonnehtivat laajat kallioiset ylänköalueet sekä niitä terävästi halkovat, suunnaltaan vaihtelevat ja melko suoraviivaiset murroslaaksot. Pohjois-eteläsuuntainen Sipoonjoen laakso jakaa alueen länsipuolen laajaan, lähes yhtenäiseen kallioalueeseen ja itäpuolen hajanaisempaan kallio- ja peltoalueiden muodostamaan mosaiikkiin. Topografia on melko jyrkkäpiirteistä Sipoojoen laakson edustaessa alueen syvintä painannetta, johon kalliot rajautuvat paikoin jyrkästi, mutta loivasti laaksoon painuvia kallioalueitakin esiintyy mm. alueen keskiosissa. Suoraviivaisten kapeiden murroslaaksojen reunat painuvat yleensä jyrkästi sedimenttipeitteisiin painanteisiin.



Kuva 2. Sipoon Hindsbyn tutkimusalue.

3. Svekofennisen kallioperän tektonisesta kehityksestä

Tutkimusalueet edustavat tyypillistä Etelä-Suomen svekofennistä kallioperää. Kallioperä syntyi proterotsooisen saarikaarikompleksin monivaiheisessa vinossa törmäyksessä vasten Itä-Suomen arkeeista mannerta noin 1,9–1,8 miljardia vuotta sitten. Svekofennisen vuorijonon muodostumisen seurauksena Etelä-Suomen kallioperään kehittyi monimutkaisia tektonisia rakenteita, monivaiheisia poimurakenteita ja suuria hiertovyöhykkeitä, jotka rajaavat kuoren tektonisia lohkoja (ks. Pajunen et al. 2008a; Kuva 9). Vuorijononpoimutuksen eri vaiheissa kivet kokivat eri syvyyksillä poimutus- ja siirrostapahtumia, jotka jättivät niihin tunnusomaiset jälkensä. Rakenteita tutkimalla voidaan kivien kehitysvaiheita tunnistaa ja koostaa eri vaiheita edustavista geologisista piirteistä kallioperän kehityskaari ja rakenteiden kuvaus. Näin saadaan informaatioita kivilajien alueellisesta vaihtelusta, tektonisten rakenteiden esiintymisestä ja niiden ominaisuuksista, kuten kallioperän rikkonaisuudesta. Syntyneiden rakenteiden ja kivilajien välisten suhteiden sekä niiden alueellisen jakautumisen tunnistaminen on välttämätöntä, mikäli halutaan ennustaa kallioperän ominaisuuksia ja rakenteita tuntemattomille, peitteisille alueille mm. geofysikaalisia mittausaineistoja hyödyntäen. Rakenteen tunteminen on kallioperän rikkonaisuuden tulkinnan perusta, sillä hauraat ja rikkonaiset rakenteet, kuten rakoilu, ovat useimmiten seurausta jo kalliossa varhaisemmin kehittyneiden "arpien" uudelleenaktivoitumisesta.

Tässä rakenneselvityksessä merkittävässä osassa ovat erityisesti jäähtynyttä kallioperää koetelleiden hauraitten rakenteiden tulkitseminen. Niitä säätelevät merkittävästi kallioperän duktiileissa (muovautuvissa) kehitysvaiheissa syntyneet varhaiset svekofenniset rakenteet, vanhat hiertovyöhykkeet ja kivilaji ominaisuudet. Alueen rakennetta tarkastellaan kuvaamalla alueen duktiileja rakenteita (poimufaasit ja hiertovyöhykkeet) ja hauraita rikkonaisuusrakenteita (siirrokset ja rakoilu) tarkastellaan tässä kontekstissa.

Kuten Etelä-Suomen, niin myös tutkimusalueiden kallioperän kehitys voidaan jakaa kahteen merkittävään svekofenniseen tektonis-termiseen vaiheeseen I ja II. Yhteenveto kehityksestä on esitetty Taulukossa 1. Ensimmäisen vaiheen aikana syntyi mantereinen kuori. Toisen vaiheen aikana liikuntojen lukkiutuessa pohjoisessa se koki jännityksen purkautumisen voimakkaana vinopuristustapahtumana Etelä-Suomessa. Varhainen kuori repesi venytyksessä (ekstensio/transtensio) ja toisaalla puristui kasaan ja poimuttui (transpressio). Suuret määrät graniittisia syväkiviä purkautui kuoreen ja ns. Etelä-Suomen granitoidivyöhykkeen syntyi.

Kuoren jäähtyminen Etelä-Suomessa tapahtui 1,80–1,79 miljardia vuotta sitten, jonka jälkeen deformaatiorakenteet syntyivät hauraissa olosuhteissa. Nykyistä maanpintaleikkausta edustavat kivet olivat 1,80 miljardia vuotta sitten noin 10–15 km:n syvyydessä. Svekofennisen orogenian jälkeen kuoren kohoaminen oli nopeaa, ja rapakivien tukeutuessa noin 1,6–1,5 miljardia vuotta sitten noin 5-6 km:n syvyyteen, oli orogenian jälkeistä kuoren kohoamista tapahtunut noin 10 km. Maan kuori pyrki hakeutumaan isostaattiseen tasapainotilaan ja orogeniassa vahventunut kuori ohentui kohoamalla ja erodoitumalla sekä tektonisesti ohentumalla (ekshumaatio). Näiden vaiheiden rakenteita tunnetaan tutkimusalueella syvällisempien tutkimusten puuttuessa huonosti ja ne kuvataan tektonisen kehityyksen ja rakoilun yhteydessä.

Seuraavassa kuvataan alueen kivilajit sidottuna tektonisiin kehitysvaiheisiin keskittyen niihin, jotka ovat merkittäviä rikkonaisuustulkinnan kannalta. Deformaatiot ja rakenteet nimetään ikäjärjestyksessä vanhemmasta nuorempaan; D_A, D_B, D_C… (D = deformaatio, F = poimutus, S = liuskeisuus).

Taulukko 1. Yhteenveto svekofennisestä rakenteellisesta kehityksestä (modifioitu Pajunen et al. 2008, Wennerström et al. 2008 ja Elminen et al. 2008 mukaan).

Svekofenninen rakennekehitys

I – Ensimmäinen tektonis-terminen vaihe n. 1.9–1.87 Ga

Uuden saarikaarikuoren synty ja törmäys arkeiseen mantereeseen

D_A – vanhimmat tunnetut poimureliktit
D_B – intensiivinen kuoren kehitysvaihe tuotti vaaka-asentoisia rakenteita korkeassa lämpötilassa
D_C – N-S-suuntainen puristusvaihe poimutti varhaisemmat D_{A+B} vaakarakenteet pystyyn
D_D – n. SW-NE-suuntainen puristus poimutti varhaiset rakenteet tektonisiksi D_{C+D}-allas-doomirakenteiksi

Uusi mantereinen D_A-D_D kuori oli kehittynyt

II – Toinen tektonis-terminen vaihe n. 1.87–1.80 Ga

Vinopuristusvaihe (transtensio ja transpressio) deformoi mantereista D_A-D_D kuorta

D_E – vaaka-asentoisia ekstensiorakenteita ja voimakasta tonaliittista-graniittista magmatismia; pinnalla samanaikaisesti sedimentaatiota
D_F – paikallisia hiertovyöhykkeitä etelässä; laaja-alaisia lohkoliikuntoja pohjoisessa; E-W-puristus
D_G – suuret alueelliset E-W-akseliset poimut
D_H – suuret alueelliset NE-SW-akseliset poimut ja graniittinen magmatismi
D_I – suuret alueelliset N-S-/NNE-SSW-akseliset poimut ja graniittinen magmatismi

Svekofenniset ja post-svekofenniset hierto- ja siirrostapahtumat

Porkkala-Mäntsälä vyöhyke – duktiili D_G-taipuma – NW-SE-poimutus ja myloniitit akselitasossa
E-W- ja ENE-WSW-hiertovyöhykkeet – leveitä duktiileja vyöhykkeitä – E-W-hiertovyöhykkeet
NE-SW-hiertovyöhykkeet – melko kapeita duktiileja-semiduktiileja vyöhykkeitä
N-S-hiertovyöhykkeet/-siirrokset – toisen asteen hiertoja/siirroksia liittyen NE-SW-hiertoihin
NW-SE-suuntaiset siirrokset – hauraita normaalisiirroksia
Loivat siirrokset – suunnaltaan vaihtelevia hauraita siirroksia/rakoiluvyöhykkeitä
Hauraat murrosrakenteet – N-S-, NE-SW- ja NW-SE-suuntaisia myöhäisiä hauraita murroksia.

4. Inkoo

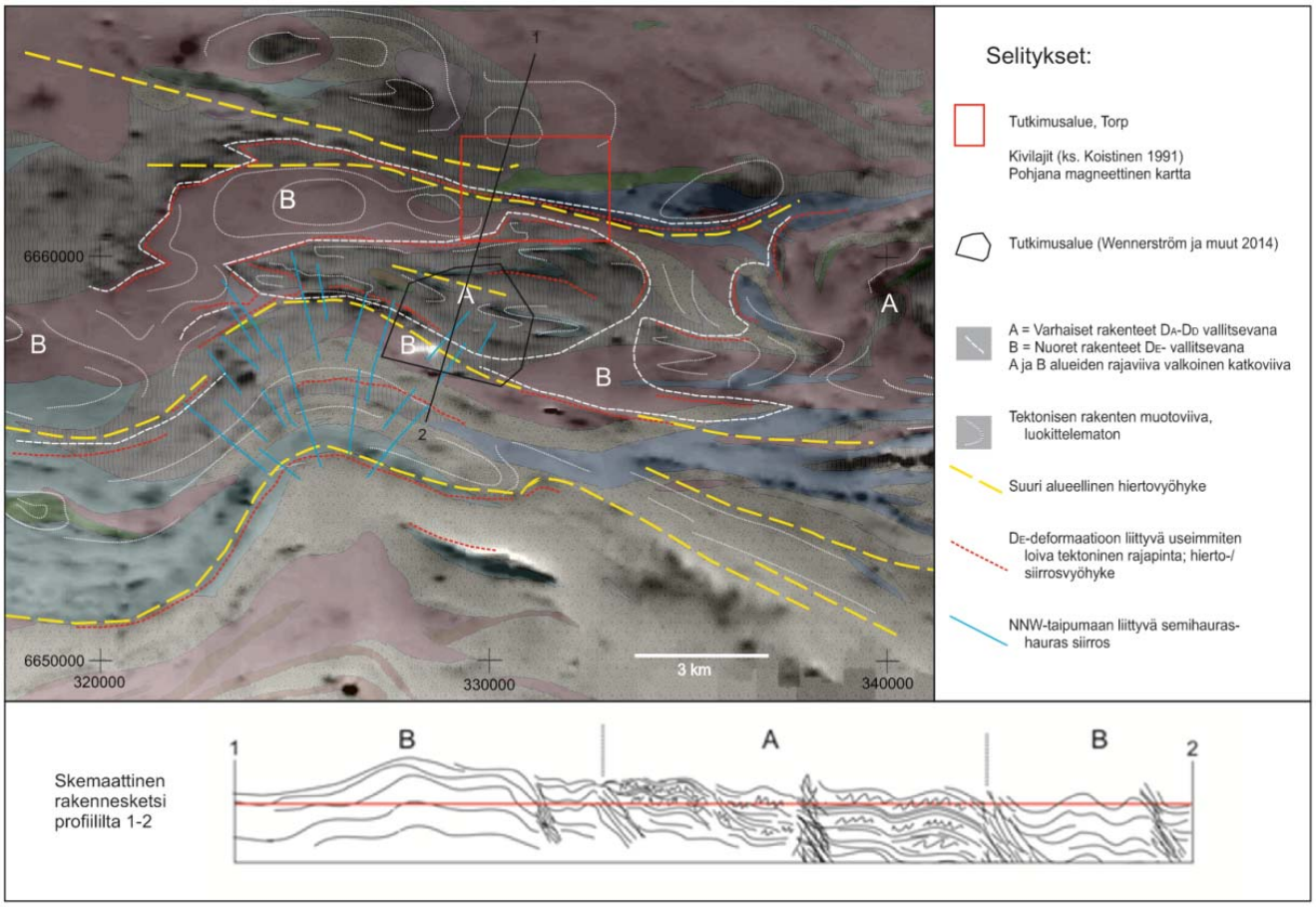
4.1. Tektoninen rakenne

Inkoon alueen selvitys nojautuu alueella tehdyn lyhyen tarkastuskäynnin lisäksi alueen eteläpuolelta Kuvassa 4 esitetyltä alueelta tehtyihin tarkempiin tutkimuksiin (Wennerström ja muut 2014). Rakennekuvaa tarkensi myös korrelaatio Pajusen et al. (2008a ja 2008b) tulkintoihin tutkimusalueen pohjoispuolelta Inkoo-Salo tien leikkauksilta. Kuvassa 3 on tutkimusalueen ympäristön tektoninen tulkinta. Alue jakautuu kahteen erilaiseen svekofenniseen osa-alueeseen:

1. Tiukasti poimuttuneet varhaiset gneissialueet (A Kuvassa 3) edustavat tektonis-termistä vaihetta I (ks. Taulukko 1).

2. Nuoret syväkivialueet (B Kuvassa 3) edustavat tektonis-termistä vaihetta II (ks. Taulukko 1).

Näiden alueiden rajapinnalla on usean metrinkin levyisiä hiertovyöhykkeitä, jotka monesti ovat reaktivoituneet hauraissa olosuhteissa. Tyyppiesimerkki osa-alueiden välisestä rajapinnan myloniittisesta vyöhykkeestä on esitetty Kuvassa 4c noin 2 km tutkimusalueen eteläpuolelta. Vastaavanlainen voimakas WNW-ESE-suuntainen lohkojen välinen hiertovyöhyke on tulkittavissa myös Inkoonjoen laakson pohjalle.



Kuva 3. Tutkimusalueen kallioperän rakennetta luonnehtii kaksi tektonisesti erilaista osa-aluetta A ja B. A-alueella tavataan varhaisessa vaiheessa (D_A-D_D, Taulukko 1) syntyneitä ja deformoituneita kiviä. Niiden rakennetta luonnehtii tiukka poimutus, voimakas migmatisaatio ja liuskeisuus. A-aluetta deformoivat vaa'at ja loivat duktiilit tektonis-termisen vaiheen II rakenteet, jotka usein kehittyivät etelään kaatuviksi hiertosaumoiksi. Eteläiset lohkot ovat painuneet niitä pitkin vinosti alas pohjoispuoleen nähden. A-alueen yleiskuvaa luonnehtii monin paikoin nuorempi II-vaiheen poimutus, joka näkyy varhaista tiukkaa poimurakennetta rikkovan vaa'an krenulaatio-/hiertoliuskeisuuden avoimena poimuttumisena. Alueella B tyypillinen kivilaji on heikosti suuntautunut granodioriitti-graniitti, joka on myös avoimesti poimuttunutta. A- ja B-alueiden raja on monesti hiertovyöhyke. Profiilikuvassa nykyeroosiotaso on esitetty punaisella viivalla.



a. b.



c.

Kuva 4. a. Tektonis-termisen vaiheen I granattipitoinen migmatiittinen kiillegneissi (Joddböle), b. tektonis-termisen vaiheen II aikaista litistymistä ja pegmatiittisia graniittijuonia gneissimäisessä granodioriitissa (Bollstad) ja c. tektonis-termistä vaihetta I edustavien gneissin (kuvan alaosa) ja tektonis-termisen vaiheen II graniitin (kuvan yläosa) välinen etelään painuva hiertovyöhyke (Joddböle). Kuvat M. Pajunen.

Tektonis-terminen vaihe I

Tutkimusalueen pääkivilaji on migmatiittinen granaattipitoinen kiillegneissi. Sen yhteydessä on emäksisiä amfiboliitteja, joista osa todennäköisesti juonikiviä, intermediäärisiä sarvivälke-biotiittigneissejä ja happamia kvartsi-maasälpägneissejä (Koistinen 1991). Useimmiten gneissien alkuperästä informoivat

rakenteet ovat deformaation myötä hävinneet, mutta Inkoon voimalaitoksen pohjoispuolen louhoksella on poikkeuksellisen hyvin säilynyt sarja pintasyntyisiksi tulkittavia raitaisia gneissejä. Nämä gneissit ovat läpikäyneet tunnistetun deformaatiohistorian, joten niiden nykyasu onkin useimmiten liuskeinen ja migmatiittinen.

Varhaisen ylityöntövaiheen (D_A) jälkeen kuori ohentui, lämpötilan kohosi ja varhaiset pintakivet saivat gneissimäisen ja migmatiittisen asunsa (D_B). Rakenteet olivat litistymisvaiheen seurauksena vaaka-asentoisia ja niihin tunkeutui varhaisen vaiheen gabroja, tonaliitteja ja granodioriitteja, jotka poikkeavat nuoremmista syväkivistä gneissimäisen ja migmatiittisen asunsa takia. Vaaka-asentoiset rakenteet deformoituivat pystyiksi E-W-suuntaisiksi poimuvyöhykkeiksi (D_C) ja edelleen kuoren E-W-lyhentymisessä soikeiksi ja tiukoiksi tektonisiksi allas-doomirakenteiksi (D_C+D_D), jotka ovat usein hajonneet tektonis-termisen vaiheen II seurauksena. Koska kuoren lämpötila oli laskemassa D_C:n ja D_D:n aikana, säilyi gneisseissä monin paikoin varhaisempi S_B-liuskeisuus. Kuvassa 4 F_C-poimut näkyvät voimakkaasti litistyneinä rakenteina kuvan keskiosassa. F_C-poimuakselit painuvat vuoroin itään ja länteen. Varhainen mantereinen kuori oli kehittynyt.

Tektonis-terminen vaihe II

Varhainen Svekofenninen mantereinen kuori oli noin 1,87 miljardia vuotta sitten suurelta osin jäähtynyt ja stabiloitunut. Svekofenninen vino törmäys kuitenkin jatkui ja kuori kuoren stabiloituessa pohjoisempana, Etelä-Suomessa se antoi periksi ja alkoi "revetä", jonka seurauksena seuraavien 70 miljoonan vuoden aikana tapahtui voimakasta magmatismia ja syntyi hyvin komplekseja tektonisia rakenteita. Rakenteet ovat avainasemassa selvitettäessä tutkimusalueen rikkonaisuusrakenteiden nykyistä asemaa.

Kuoren venyminen ja ohentuminen eli ekstensio (D_E, Taulukko 1) alkoi noin 1,87-1,86 miljardia vuotta sitten. Ns. Etelä-Suomen granitoidivyöhykeen kehittyminen alkoi. Lämpötila kasvoi kuoressa nopeasti syvyyden funktiona, mistä seurasi jo muutaman kilometrin syvyysvaihtelusta johtuvia eroja syntyneiden rakenteiden luonteisiin. Magmatoiminta voimistui syväkivimassojen (varhaisemmin tonaliitteja, granodioriitteja, gabroja ja myöhäisvaiheessa graniitteja) tunkeutuessa kuoreen.

Alakuoressa kaikki varhaiset rakenteet (D_A-D_D) tuhoutuivat vaaka-asentoisen liuskeisuuden (S_E) luonnehtiessa syntynyttä rakennetta. Lähempänä maan silloista pintaa ja ekstension reuna-alueilla, kuten Inkoon tutkimusalueella, deformaatio keskittyi vaaka-asentoisiin vyöhykkeisiin. D_E-deformaatiolta säilyneissä osissa vanhat D_A-D_D-poimurakenteet ovat edelleen varhaisessa pystyasennossaan. Magmatismi kehittyi koostumukseltaan graniittisemmaksi ja varhaisemmin syntyneet kivilajit kokivat osittaista sulamista. Tutkimusalueella S_E-liuskeisuus on paikoin kehittynyt voimakkaaksi lähes vaaka-asentoisissa vyöhykkeissä (Kuvat 4b ja 5), mutta vanhat pystymmät D_A-D_D rakenteet säilyneet jäänteinä S_E-liuskeisten vyöhykkeiden välissä – pintakivien luonnehtimia alueita. S_E-liuskeisuutta luonnehtii paikoin voimakas biotiittijuovaisuus (krenulaatio). Paikoittain S_E-liuskeisuus kääntyy pystymmäksi ja kehittyy useita metrejä leveiksi myloniittisiksi vyöhykkeiksi, joissa eteläpuolen lohkot ovat painuneet vinosti alas pohjoisiin nähden.



Kuva 5. Vaaka-asentoinen loivasti F_G-poimuttunut S_E-liuskeisuus kvartsi-maasälpägneississä noin 2 km tutkimusalueen eteläpuolella. Kuva M. Pajunen.

Vaa'at D_E-rakenteet poimuttuivat myöhemmin aiheuttaen kallioperään laaja-alaisia soikeita poimuinterferenssikuvioita. D_G- ja D_H-rakenteet luonnehtivat tutkimusalueen kallioperää ja sen ympäristöä (Taulukko 1 ja Kuva 4). D_G-deformaatio oli N-S-puristusta, joka aiheutti näkyvää suuriamplitudista avointa poimutusta (Kuva 5). D_H-deformaatio oli laaja avoin poimutus, jonka akselitaso on likimain N-S-suuntainen, ja yhdessä D_G-poimujen kanssa ne muodostavat nuoremman karttakuvassakin hyvin erottuvan tektonisen allas-doomirakenteen $D_{G+H.}$ Näiden poimurakenteiden seurauksena S_E-liuskeisuus, sitä seuraavat D_E-hiertovyöhykkeet ja nuoret kivilajikontaktit ovat suunnaltaan vaihtelevia ja useimmiten loivahkoja.

D_{G-H}-poimuinterferenssikuviot taipuvat suuressa tutkimusalueen karttakuvaa luonnehtivassa taipumassa, jonka akselitaso on NW-SE-suuntainen (Kuva 3). Kyseessä on ilmeisimmin konjugaattirakenne, joka on syntynyt samanaikaisesti pitkäikäisen Porkkala-Mänsälä-vyöhykkeeseen liittyvän taipuman kanssa Kirkkonummen-Espoon alueilla (myöhäis-D_G). Tutkimusalueella rakenteen akselitasossa esiintyy viuhkamaisesti kapeita myloniittisia vyöhykkeitä, joissa kivi on paikoin myöhemmin hauraasti hajonnut ja rakoillut.

4.2. Kallioperän rikkonaisuus

Tektonis-terminen vaihe I ja rikkonaisuus

D_B-rakenteet syntyivät syvällä kuoressa, jolloin varhaiset gneissit ja syväkivet saivat liuskeisen, migmatiittisen, lujan, tiiviin ja useimmiten pienirakeisen asun. Kivilajikontaktitkin olivat hyvin hitsautuneita. Varhaisten gneissien yhteydessä on paikoin heikosti kaareilevia vahvasti liuskeisia myloniittigneissivyöhykkeitä. Ne ovat biotiittipitoisia, ja aktivoituessaan uudelleen, ne kokevat helposti

muuttumista ja särkymistä. Rakoilurakenteita nämä vyöhykkeet säätelevät ainakin osittain. Alueen kvartsi-maasälpägneissikalliot ovat yleensä eheitä ja harvarakoisia, mutta paikoin niissä esiintyy lyhyttä ja tiheää sekarakoilua, joka voi toisinaan kehittyä hauraiksi heikkousvyöhykkeiksi.

Yleistäen tektonis-termisen vaiheen I aikaiset rakenteet eivät juurikaan ohjaile kallioperän heikkousrakenteita, sillä kallioperän lämmettyä uudelleen vaiheessa II, hitsautuivat vanhat heikkousrakenteet kestäviksi rakenteiksi.

Tektonis-terminen vaihe II ja rikkonaisuus

S_E-biotiittijuovaisuutta (krenulaatio) pitkin kivi osittuu helposti avoimiksi rakenteiksi. Se ohjailee usein myös alueen eri-ikäisten kivilajiassosiaatioiden välisiä rajapintoja, jotka ovat lähes poikkeuksetta tektonisia hiertovyöhykkeitä. Näissä usein likimain E-W-suuntaisissa, etelään noin 30-60° kaatuvissa hiertovyöhykkeissä eteläpuoli on vajonnut suhteessa pohjoispuoleen. Vyöhykkeet ovat monesti uudelleenaktivoituneet nuorissa liikunnoissa ja monivaiheisesti liikkuneet siirrossaumat ovatkin alueen merkittävimpiä heikkousvyöhykkeitä. Ne ilmenevät topografisina notkoina ja painanteina ja niiden reuna-alueita luonnehtivat voimakkaasti rakoilleet vyöhykkeet ja paikoin muuttuneet kivet. Nämä saumat ovat usein avoimia ja alttiita veden liikkeille, varsinkin kivilajeiltaan kontrastisissa osissa (Kuvat 6 ja 7) ne saattavat kehittyä rikkonaisiksi ja veden liikkeille alttiiksi. Niistä on todettu myös seismisesti alhaisen nopeuden vyöhykkeitä, jotka leveimmillään ovat jopa 25 m.



Kuva 6. Voimakkaasti rakoillut ja muuttunut monivaiheinen liuskeisuuden suuntainen (134°/49°) hiertovyöhyke noin 3 km tutkimusalueen eteläpuolella (Joddböle). Kuva M. Pajunen.



Kuva 7. Heikkousvyöhyke suunnassa 184°/47° noin 1 km tutkimusalueen eteläpuolella (Joddböle). Vyöhyke on 3,5 m leveä, hiertynyt ja rapautunut inkoheesinen breksia. Tieleikkauksessa on kolme päärakosuuntaa , joista kahteen on kehittynyt heikkousvyöhykkeitä. Kuva M. Pajunen.

5.3. Rakoilu

Tutkimusalueelta ei ole rakoiluhavaintoja tätä tulkintaa tehtäessä, joten seuraavassa on sovellettava tietoa eteläpuolen paljastumilta (Wennerström ja muut 2014). Yleistäen voidaan todeta, että kallioperän rakenne jatkuu etelästä hyvin samantyyppisenä tutkimusalueelle. Molempia alueita luonnehtivat loivahko liuskeisuus ja tektoniset allas-doomirakenteet ja niitä rajaavat hiertovyöhykkeet. Siksi on oletettavissa, että eteläpuolella systemaattisesti esiintyvät rakorakenteet jatkuvat samanlaisina myös Torpin alueelle. Lyhyen maastokäynnin tarkistukset tukevat alueiden samankaltaisuutta.

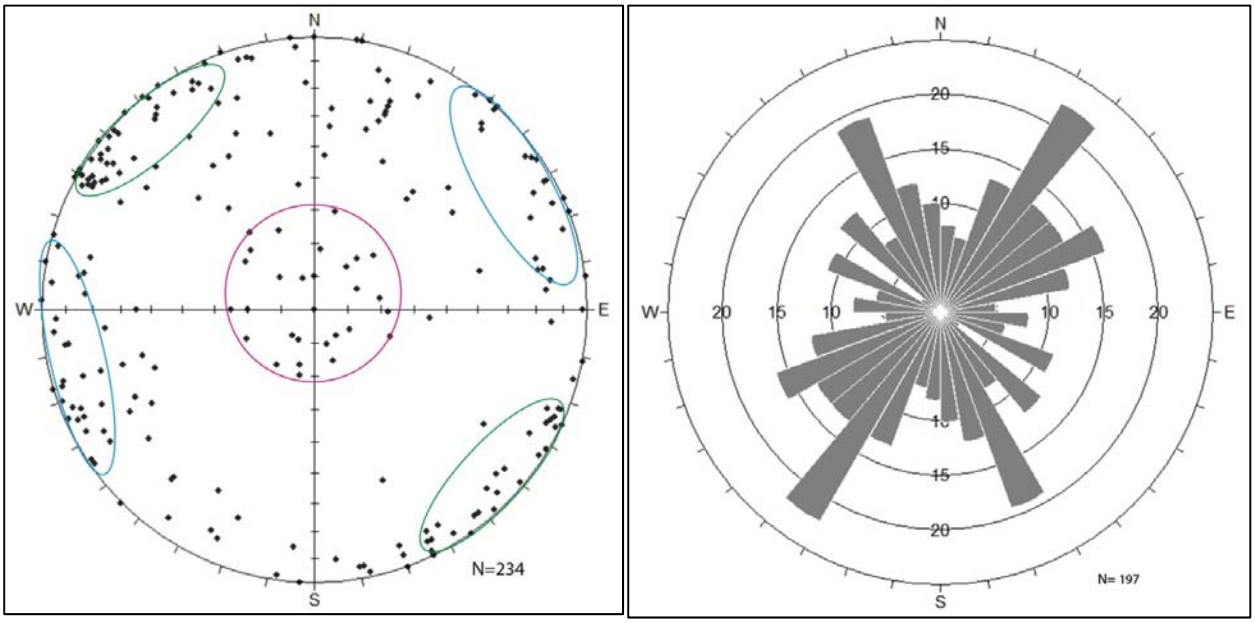
Wennerström ja muut (2014) kokosivat tutkimusalueeltaan (Kuva 3) 192 rakosuuntahavaintoa, jotka kuvaavat kohteiden päärakosuuntia. Rakohavainnot on esitetty stereograafisella projektiolla (Kuva 8a) sekä suuntaruusuna (Kuva 8b). Alueella esiintyy kaksi pystyä rakosuuntatrendiä NE-SW ja NNW-SSE (Kuva 8b). Ne esiintyvät koko eteläisellä tutkimusalueella, joten on hyvin todennäköistä, että ne ovat päärakosuuntia myös Torpin alueella. Lisäksi alueella on runsaasti vaakoja ja loivia rakoja (Kuva 8a).

Kallioiden lakialueilla rakoilu on pääsääntöisesti harvaa ja kivet ovat eheitä. Vaakarakoilu ilmenee tutkimusalueen kallioalueiden laseraineistossa terassimaisina tasorakenteina. Se on seurausta S_E-biotiittijuovaisuutta (krenulaatio) pitkin tapahtuneesta kiven osittumisesta avoimiksi rakenteiksi. Monesti vaakaraot seurailevatkin kyseistä liuskeisuutta (Kuva 9) kaatuen liuskeisuuden suunnan muutosten seurauksena eri suuntiin. Useimmiten loivat raot kaatuvat kuitenkin etelään, koska alueen S_E-liuskeisuus kaatuu usein myös sinne. Alueelta on havaintoja vaakarakenteisista heikkousvyöhykkeistä ja runsaasti rakoilleista vyöhykkeistä, jotka useimmiten jäävät piiloon sedimenttipatjojen alle. Laajat pitkänomaiset

savikkoalueet, kuten Inkoonjoen laakso, voivat olla seurausta loivasta heikkousvyöhykkeestä, mikä ei tule ilmene seismisessä tutkimuksessa näkyviin heikkousvyöhykkeen painuessa loivana eheämmän kalliolohkon alle. Esimerkki tällaisesta heikkousvyöhykkeestä on Kuvassa 4c. Alueella esiintyvien vaakarakenteiden asennosta seuraa, että, mikäli rakenteet ovat avoimia, tapahtuu veden virtaus niissä useimmiten kohti kohti etelää.

Sekä vaakoihin että pystyihin rakorakenteisiin liittyy usein kiilamaista rakennetta, joka ollessaan avointa tuottaa vedelle hyviä kulkukanavia (Kuva 9). Suuntaruususssa lähes päärakosuuntien suunnassa on rakosuuntatihentymiä, jotka ovat seurausta päärakosuuntien kiilarakenteesta. Joillakin kallioalueilla on pystyä lohkovaa, kiilarakenteista rakoilua, joka muodostaa lohkareikkoa jyrkkäpiirteisten kallioalueiden reunoille. Tällaiset vyöhykkeet voivat jatkua syvemmälle edustaen hyviä pystyhköjä veden kulkukanavia.

Laajan myöhäis-D_G-poimutuksen akselitasossa viuhkamaisesti esiintyvien myloniittien (Kuva 3) suunnassa on toisinaan vetorakoja. Ne ovat paikoin avoimia ja alttiita veden liikkeille, kuten monivaiheiset myloniititkin, joissa on todettu paikoin voimakasta liuosten aiheuttamaa muuttumista.



Kuva 8. Inkoon tutkimusalueen rakohavainnot a) stereograafisella pintatarkalla alapalloprojektiolla. Rakosuuntakeskuíttymat on rajattu diagrammiin. b) Rakoilusuunnat suuntaruusuna.



Kuva 9. Loiva S_E-liuskeisuutta seurailevaa kiilarakoilua noin 1 km tutkimusalueen eteläpuolella; kuvan alaosassa vaaka rapautunut vyöhyke.

5.4. Yhteenveto tutkimusalueen rakenteesta ja veden liikekanavista

Kuvaan 10 on koottu tutkimusalueen rakenteen tulkinta ja sen perusteella mahdollisia veden kulkeutumiselle soveliaita kanavia.

Magneettisen aineiston perusteella Inkoojoen laakson kautta kulkee pitkä lineaarinen anomalia WNW-ESE suunnassa. Lännempänä se erottuu selvänä, anomalialuonteensa perusteella duktiiliksi tunnistettavana, hiertovyöhykkeenä. Vyöhykkeestä ei ole suoranaisia maastohavaintoja, mutta korreloitaessa sitä muilta alueilta tunnettuihin vastaaviin vyöhykkeisiin, se on todennäköisesti monivaiheinen, myös hauraassa vaiheessa deformoitunut siirros. Alueen keskiosassa on suoraviivaisesti leikkautunut magneettinen anomalia, joka Koistisen (1991) kartalla on merkitty amfiboliitiksi.

Tutkimusalueella hiertovyöhyke on kahden laajan D_{G+H}-allas-doomirakenteen rajalla ja siihen liittyy varhaisia magneettisia anomalioita katkovia rakenteita. Magneettisen anomalian luonteen perusteella vyöhyke kaatuu tutkimusalueella etelälounaaseen. Hiertovyöhykkeen asemaan on tutkimusalueella vaikuttanut alueen NW-puolella olevan soikean vinosti länttä kohti kaatuvan (= S_H akselitaso) D_{G+H}-antiformirakenteen loivasti kaatuva SE-kylki. Rakenne on tulkittavista antiformiin liittyvän anomalian heikkenemisenä kohti etelää-kaakkoa. Tutkimusalueen luoteisosan magneettinen anomaliakuvio ei ole helposti tulkittavissa, mutta, kuten etelämpänäkin, heijastelee topografia tektonista rakennetta. Alueella on laaja D_{G+H}-synformi, jonka pituusakseli on liki NW-SE-suuntainen. D_{G+H}-synformirakenteen E-osa on käytetyn aineiston perusteella vaikeasti tulkittavissa, joskin sitä näyttäisi kuvastelevan pääasiassa SE:hen kaatuva poimuttunut rakenne, joka rakenteensa perusteella voitaisiin tulkita osaksi NW-osan suurta synformisrakennetta.

Näiden suurien allas-doomirakenteiden ja hiertovyöhykkeen välissä on tutkimusalueen länsiosassa pieni soikea rakenne, jonka asema on epäselvä.

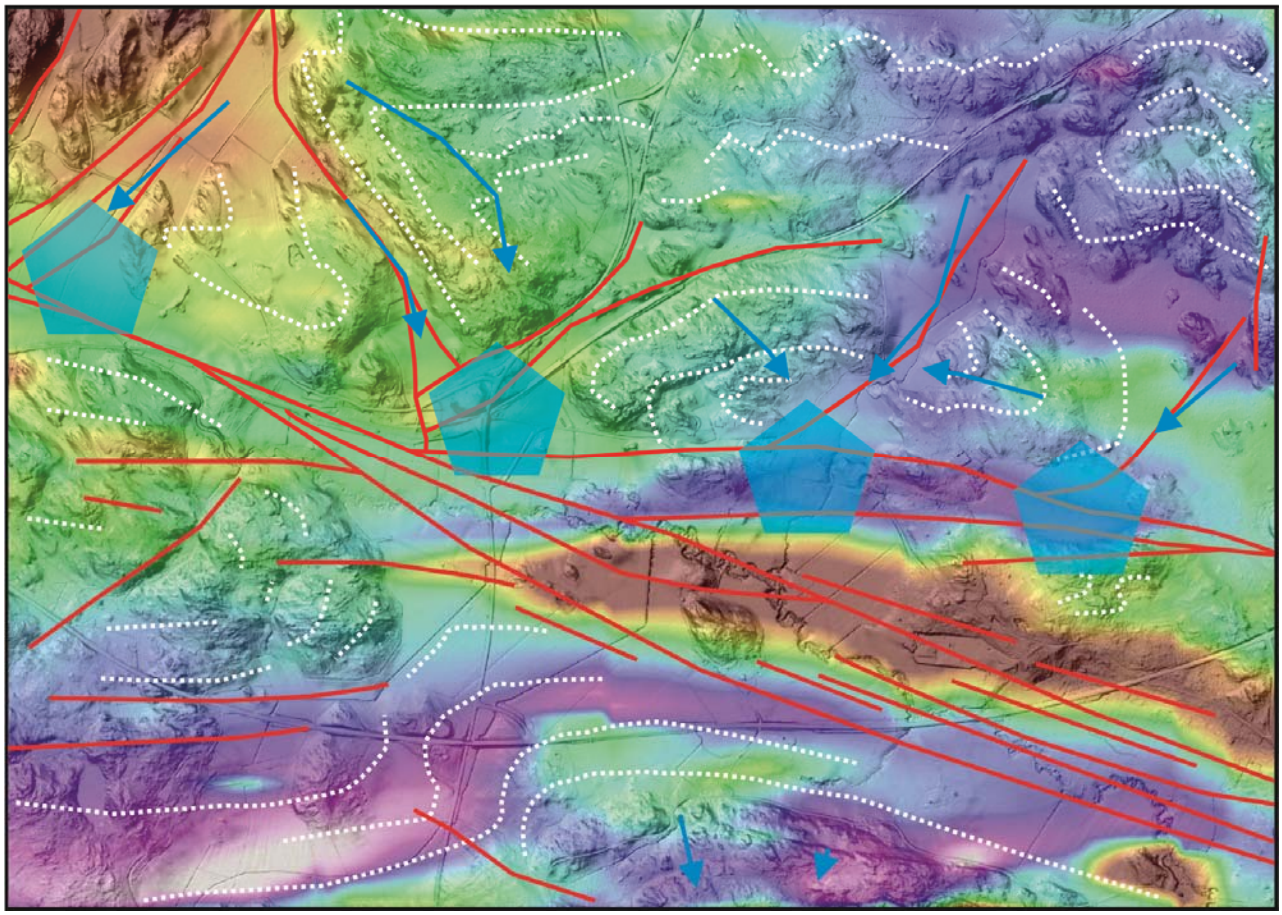
Hiertovyöhykkeen pohjoispuolella ja alueen itäpuolella on vastaavanlainen selkeästi tunnistettava soikea antiformiksi tulkittu rakenne, jonka eteläisen kyljen mukaiseksi hiertovyöhyke näyttäisi taipuvan.

Tutkimusalueen länsipuolelta, hiertovyöhykkeen eteläpuolella, alueelle ulottuu laaja soikea rakenne, joka alueellisen korrelaation perusteella on tulkittu D_{G+H}-antiformiksi.

Tutkimusalueen eteläisintä osaa edustaa D_{G+H}-synformiksi tulkitun alueen jatketta (Kuva 3), joka ilmeisimmin on loiva-asentoinen. Sen eteläpuolella on voimakkaasti likimain E-W-suunnassa pilkkoutuneen alueen luonnehtima poimuttunut rakenne. Em. suurrakenteet kaatuvat etelään.

Edellä kuvatuissa D_{G+H}-allas-doomirakenteissa poimuttuu pääsääntöisesti S_E-liuskeisuus. Kuten edellä todettiin, alueella tyypillinen, paikoin kiilarakenteinen vaaka ja loiva rakoilu, seurailee kyseistä liuskeisuutta. Inkoonjokilaakson N-puolella loivat rakorakenteet kaatuvat pääasiassa etelään kohti jokilaaksoa. Täten voisi tulkita myös veden virtauksen kalliorakenteissa olevan sen suuntaista. Inkoo-Salotien ja rautatien notko leikkaa synformirakennetta NE-suunnassa. On mahdollista, että ko. laaksoon keräytyisi vettä alueen NW-puolelta valuen lopulta Inkoojokilaakson painanteiseen. Vastaavanlaisia rakenteita on myös idempänä, mutta niiden rakenteellinen asema ei ole aineiston perustella yhtä selvä.

Hiertovyöhykkeen eteläpuolella veden virtaus kallioperässä on ilmeisimmin pääasiassa etelään, poispäin jokilaaksosta.

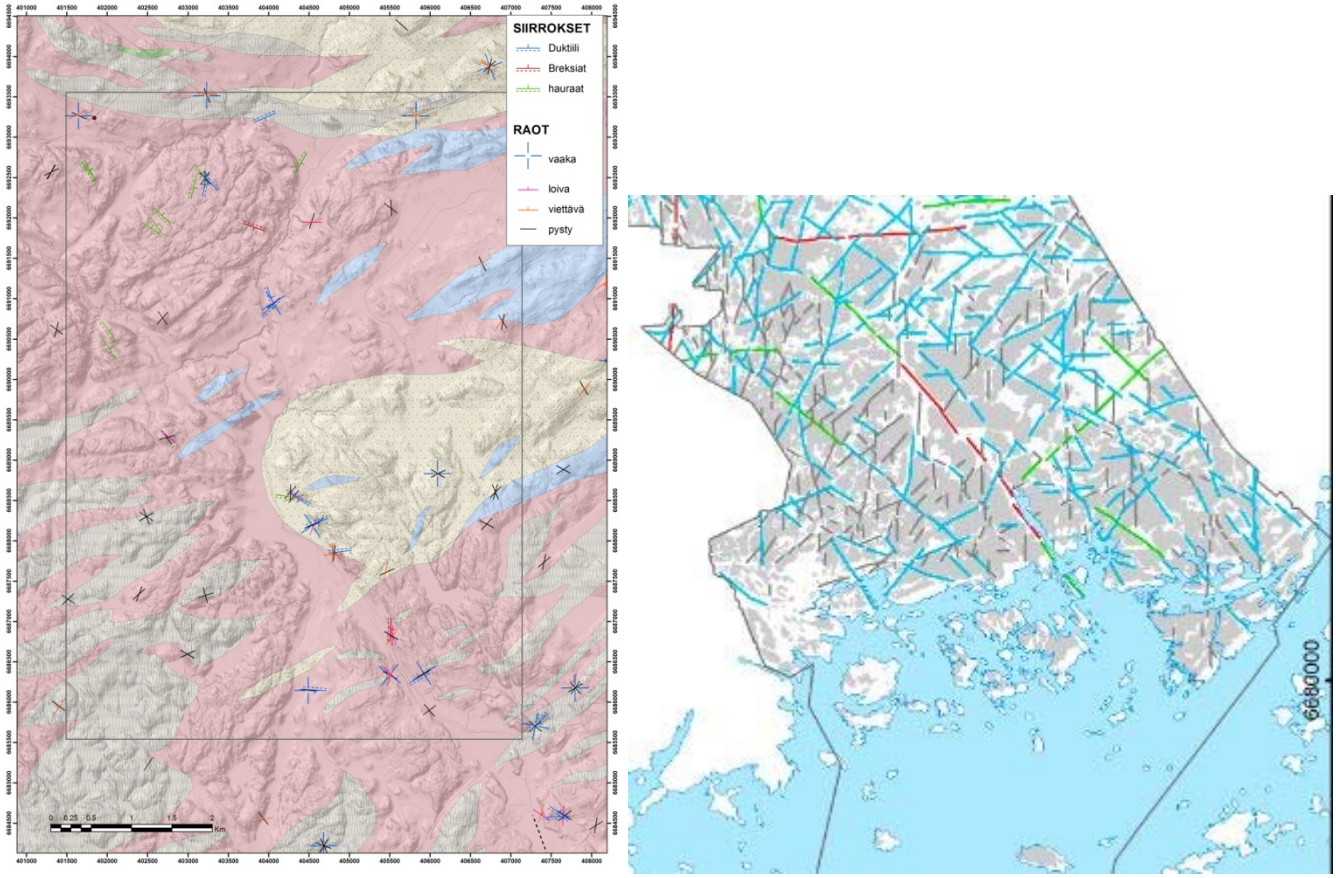


Kuva 10. Arvoituja veden kulkeutumissuuntia kallioperässä (sinivihreät nuolet) ja veden mahdollisia kasautumiskohtia (sinivihreät polygonit). kallioperän heikkousvyöhykkeitä on kuvattu punaisin ja rakoilua ohjailevien tektonisten rakenteiden muotoja valkein katkoviivoin. Pohjana magneettinen kartta topografisella pohjalla.

6. Sipoo

6.1. Tektoninen rakenne

6.2. Kallioperän rikkonaisuus



Viitteet

Elminen, Tuija; Airo, Meri-Liisa; Niemelä, Reijo; Pajunen, Matti; Vaarma, Markus; Wasenius, Pekka; Wennerström, Marit 2008. Fault structures in the Helsinki area, southern Finland. In: Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland - a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland. Special Paper 47. Espoo: Geological Survey of Finland, 185-213.

Koistinen, Tapio. 1991. Kallioperäkartta 1 : 100 000 - Maps of Pre-Quaternary Rocks, Karttalehti: 2014, Tammisaari. Geologian tutkimuskekus.

Koistinen, Tapio. 1992. Lyhyt kuvaus Tammisaaren kartta-alueen kallioperästä. Kallioperäkartan selitys. 1 : 100 000 - Expl. to Maps of Pre-Quat. Rocks, Karttalehti. Geologian utukimuskeskus.

Laine, Mirva; Wennerström, Marit; Kuivamäki, Aimo; Pajunen, Matti; Ikävalko, Ossi; Keskisaari, Kirsti 2013. Länsimetron kallioperän rakennettavuuden arviointi välillä Matinkylä-Saunalahti. Geologian tutkimuskeskus, Raportti, 38 s.

Pajunen, Matti; Wennerström, Marit 2010a. Post-Svekofennisten kivien hauraiden rakenteiden tutkimus Satakunnassa: kenttätyöt kesällä 2009. Abstract: Investigation of post-Svecofennian brittle structures in Satakunta - field report 2009. Posiva. Työraportti 2010-63. Olkiluoto: Posiva. 60 p.

Pajunen, Matti; Wennerström, Marit 2010b. Satakunnan hiekkakiven hauraiden rakenteiden kehityksestä. Summary: Development of brittle structures in the Satakunta sandstone. In: Geotietoa Satakunnasta : GeoPori-, GeoSatakunta- ja InnoGeo-projektien loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 183. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 11-63.

Pajunen, Matti; Wennerström, Marit; Ikävalko, Ossi; Elminen, Tuija; Arkimaa, Hilkka; Wasenius, Pekka; Ajlani, Mirjam 2007. Länsimetron kallioperän rikkonaisuusarviointi Matinkylän ja Ruoholahden välillä. Osa I. Kallioperän geologinen kehitys sekä kallioperän hierto- ja siirrosvyöhykkeiden kuvaus ja luokittelu. 50 s., 9 liitekarttaa Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, K 21.42/2007/33.

Pajunen, Matti (ed.) 2008. Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland - a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland. Special Paper 47. Espoo: Geological Survey of Finland. 326 p.

Pajunen, Matti; Airo, Meri-Liisa; Elminen, Tuija; Mänttäri, Irmeli; Niemelä, Reijo; Vaarma, Markus; Wasenius, Pekka; Wennerström, Marit 2008. Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland. In: Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland - a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland. Special Paper 47. Espoo: Geological Survey of Finland, 15-160.

Pajunen, M.; Airo, M-L.; Elminen, T.; Niemelä, R.; Salmelainen, J.; Vaarma, M.; Wasenius, P.; Wennerström, M. 2002. Kallioperän rakennettavuusmalli taajamiin. Menetelmäkehitys ja ohjeistus. Raportti I. 95 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, K 21.42/2002/5.

Wennerström, Marit; Airo, Meri-Liisa; Elminen, Tuija; Niemelä, Reijo; Pajunen, Matti; Vaarma, Markus; Wasenius, Pekka 2008. Orientation and properties of jointing in Helsinki area, southern Finland. In: Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland - a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland. Special Paper 47. Espoo: Geological Survey of Finland, 253-282.