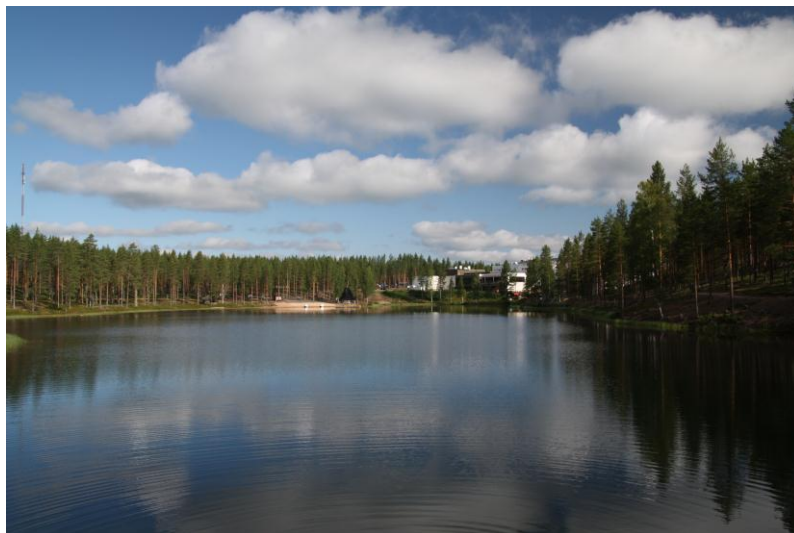




# Rokuan harjun vesitalouden selvittäminen matkailullisten edellytysten turvaamiseksi

## Loppuraportti



Pekka Rossi, Pertti Ala-aho, Helena Vikstedt ja Virve Kupiainen

2010

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007–2013



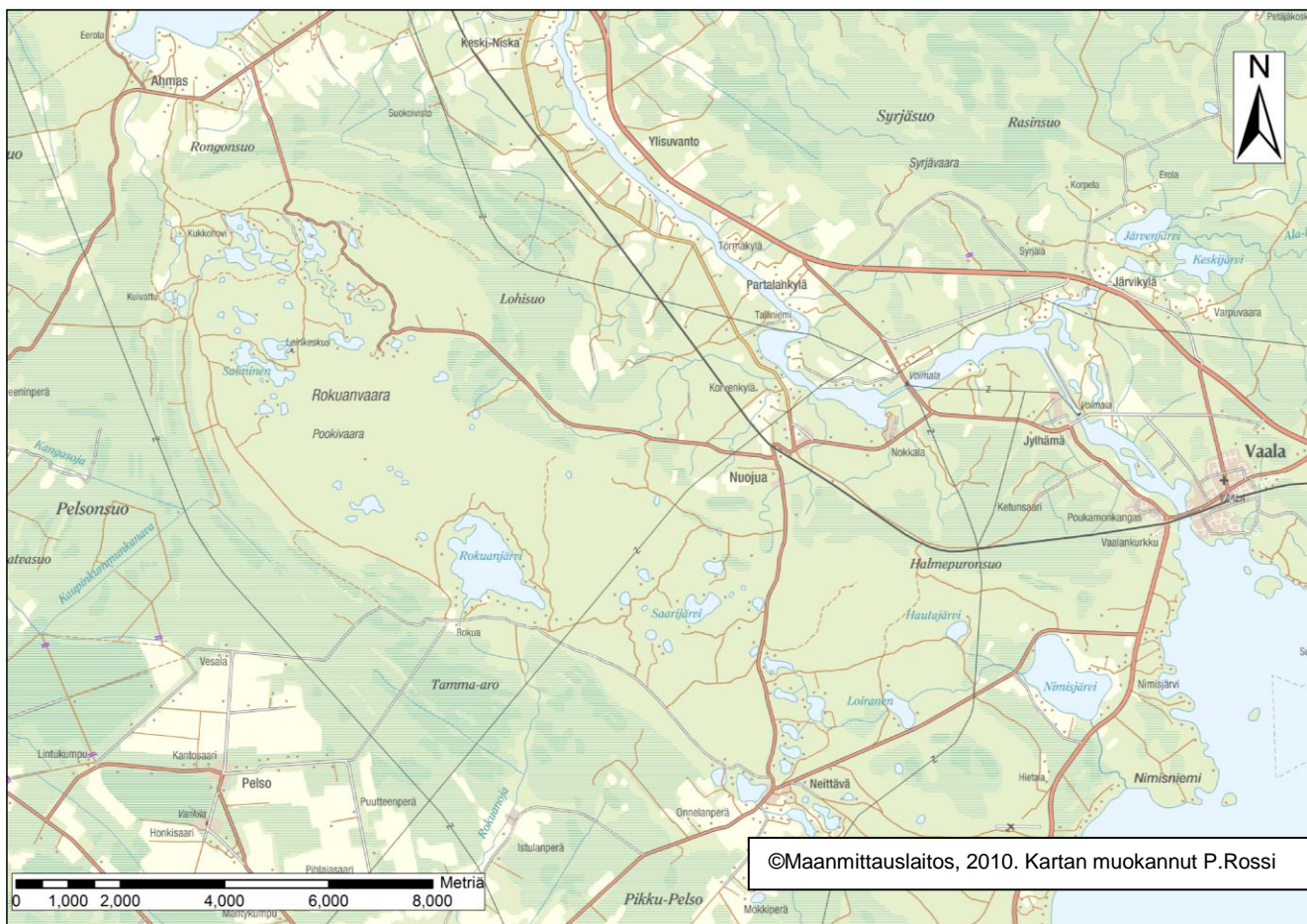
# Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Taustaselvitykset.....	5
2.1	Rokuan geologia .....	5
2.2	Järvien ja pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut.....	8
2.3	Alueen maankäyttö.....	10
3	Geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset.....	12
3.1	Maatutkaluotaus .....	12
3.2	Seismiset luotaukset .....	15
3.3	Kairaukset .....	16
4	Hydrologia .....	20
4.1	Ojavirtaamat.....	20
4.2	Järvien hydrologia .....	24
4.2.1	Ahveroisen lammen hydrologia.....	27
4.2.2	Järvien ja pohjaveden vuorovaikutus.....	28
4.3	Ilmasto-olosuhteet.....	31
4.4	Pohjaveden mallinnus ja virtaussuunnat .....	33
5	Ojitusalueen koekunnostus .....	35
5.1	Kunnostuskohde.....	35
5.2	Kunnostusmenetelmät.....	37
5.3	Kunnostuksen tulokset .....	38
5.4	Kunnostuksen johtopäätökset .....	41
6	Suppalampien ja -järvien kunnostusmahdollisuudet.....	42
7	Yhteenveto .....	43
	Lähdeluettelo .....	45

# 1 Johdanto

Rokuan harjualue on Utajärven, Muhoksen ja Vaalan kuntien alueella sijaitseva merkittävä luontokohde. Se on noin 100 km<sup>2</sup> laaja hiekkaharju, joka kohoaa korkeimmillaan Pookivaaran kohdalla 193 metrin korkeuteen merenpinnasta, noin 70 metriä ympäröiviä suoalueita korkeammalle (kuva 1). Alue on kuivaa hiekkakangasta, jossa on monia pohjavedestä riippuvaisia järviä ja lampia. Näistä lasku-uomattomat suppalammet ovat Suomen olosuhteissa harvinaisen karuja ja kirkasvetisiä. Harjua ympäröivät laajat suoalueet, jotka on ojitettu viime vuosisadan aikana metsätalouden käyttöön. Harjun länsiosassa on määritetty Natura 2000-alueeksi ja alueella sijaitsee Rokuan kansallispuisto. Alue on valittu vuonna 2010 UNESCO:n Geopark-verkoston osaksi ainutlaatuisena geologisena kohteena.

Rokuanvaaralla sijaitsevilla lasku-uomattomissa suppajärvisä ja -lammissa on ajoittain havaittu erittäin voimakasta pinnan korkeuden laskua, mikä on aiheuttanut huolestuneisuutta paikallisten asukkaiden ja viranomaisten keskuudessa. Pinnankorkeuden laskun on pelätty aiheuttavan alueen arvokkaiden luontokohteiden vaarantumista sekä virkistyskäyttöarvon laskua. Tämän hankkeen tavoitteena oli selvittää syyt pinnankorkeuksien laskuun ja kuinka lammet ja järvet toimivat osana koko harjun vesitaloutta.



Kuva 1. Rokuan harjualue ja sillä sijaitsevat lammet ja järvet.

Hanke koostui neljästä osa-alueesta. Ensimmäisessä osa-alueessa alueen aiemmat selvitykset koottiin yhteen, ongelman taustojen selvittämiseksi: milloin vedenpinnan vaihtelua on ensimmäisen kerran dokumentoitu ja miten alueen geologiaa ja hydrologiaa on aiemmin selvitetty. Toisena osa-alueena hankkeessa oli selvittää harjun geologista rakennetta: tutkia harjun kerrosrakennetta sekä harjua ympäröivien suoalueiden geologista yhteyttä harjuun. Tämän lisäksi tarkoitus oli määrittää kuinka lammet ja järvet ovat osa tätä geologista rakennetta, eli ovatko alueen lammet mahdollisesti orsivesiesiintymiä vai osa koko alueen pohjavesiesiintymää.

Kolmantena osa-alueena oli alueen hydrologian selvittäminen, mikä jakautui useaan osatutkimukseen. Alueen vesitasetta selvitettiin mittaamalla alueelta purkautuvien vesien määrää ympäröivistä ojista sekä tutkimalla kuinka purkautuvan veden määrä jakautuu eri puolille harjua. Järvien hydrologiaa selvennettiin koekohteena toimineen Ahveroisen lammen tutkimuksella. Yksi osa-alue hydrologiasta oli ilmaston vaikutuksen arviointi harjun vesitalouteen. Tällä selvitettiin, onko ilmaston vaihtelulla vaikutusta lampien ja pohjaveden pinnan vaihteluun. Lisäksi alueen pohjaveden virtausreittejä selvitettiin mallintamalla. Mallinnuksen tuloksia verrattiin purkautuvien vesimäärien mittauksiin. Hydrologian selvittämisen yhteydessä alueelle asennettiin kattava mittausanturiverkosto, jotta alueelta saadaan tarkkaa seurantatietoa veden pinnan vaihteluista sekä muista hydrologisista suureista.

Neljäs osa-alue hankkeessa oli kunnostusvaihtoehtojen tarkastelu. Harjun lampien vedenpintojen pinnankorkeuden vaihtelun aiheuttajaksi on arveltu metsäojituksia ja ilmastoja. Tässä hankkeessa alueen geologisen tarkastelun tulosten perusteella ympäröivälle suoalueelle tehtiin koekunnostus, jossa tarkasteltiin ojituksen ja ojituksen kunnostuksen vaikutusta pohjaveteen.

## 2 Taustaselvitykset

### 2.1 Rokuan geologia

Rokuan harjun on oletettu syntyneen viimeisimmän mannerjäätikön sulamisvaiheessa jäätikköjoen kerrostamaksi harjujaksoksi ja alueelta löytyy runsaasti jäätikön liikkeiden merkkejä. Jäätikön on arvioitu vetäytyneen Rokuanvaaran alueelta noin 9300 vuotta ennen ajanlaskun alkua (Ignatius et al, 1980, Lundqvist, 1986). Tuomikoski (1987) on esittänyt, että Rokuanvaara on jäätikkövirran suulle, veteen kerrostunut muodostelma. Aartolahden (1973) mukaan muodostelma on aluksi ollut saari itämeren vaiheisiin kuuluvan Ancylysjärven keskellä. Saarivaiheen aikana muovautuivat Rokuaa ympäröivät rantavallit. Rokuan maisemiin kuuluvat lisäksi mannerjäätiköstä irtaantuneiden jääkappaleiden sulaessaan aiheuttamat suppakuopat sekä tuulien kerrostamat dyynimuodostelmat. Rokuan harjua ympäröivät laajat suoalueet.

Kallioperä on alueella lähes kaikkialla maaperäkerrosten alla peitossa. Harjun länsipuolella kallioperä Honkamon (1994) mukaan kuuluu Svekofenniseen granitoideihin, joka koostuu lähinnä graniitista ja granodioritista ja Ylikiimingin gravakkamuodostumaan, joka koostuu pääosin metagrauvakasta. Rokuanharjun alue on metagrauvakkaa ja kiilleliusketta Vuoton gravakkamuodostuman puolella ja Utajärven konglomeraatti-muodostuman puolella metakonglomeraattia (Honkamo, 1994). Harjun itäpäässä Oulujärven puolella kallioperä Honkamon (1994) mukaan kuuluu Pudasjärven kompleksiin ja koostuu suurimmaksi osaksi graniittigneissistä. Kuvassa 2 on esitetty kalliopaljastuma Pelson suoalueelta sekä toinen Oulujärven länsipuolella sijaitsevan Kentänkylän vieressä sijaitsevilta Pirunkallioilta.



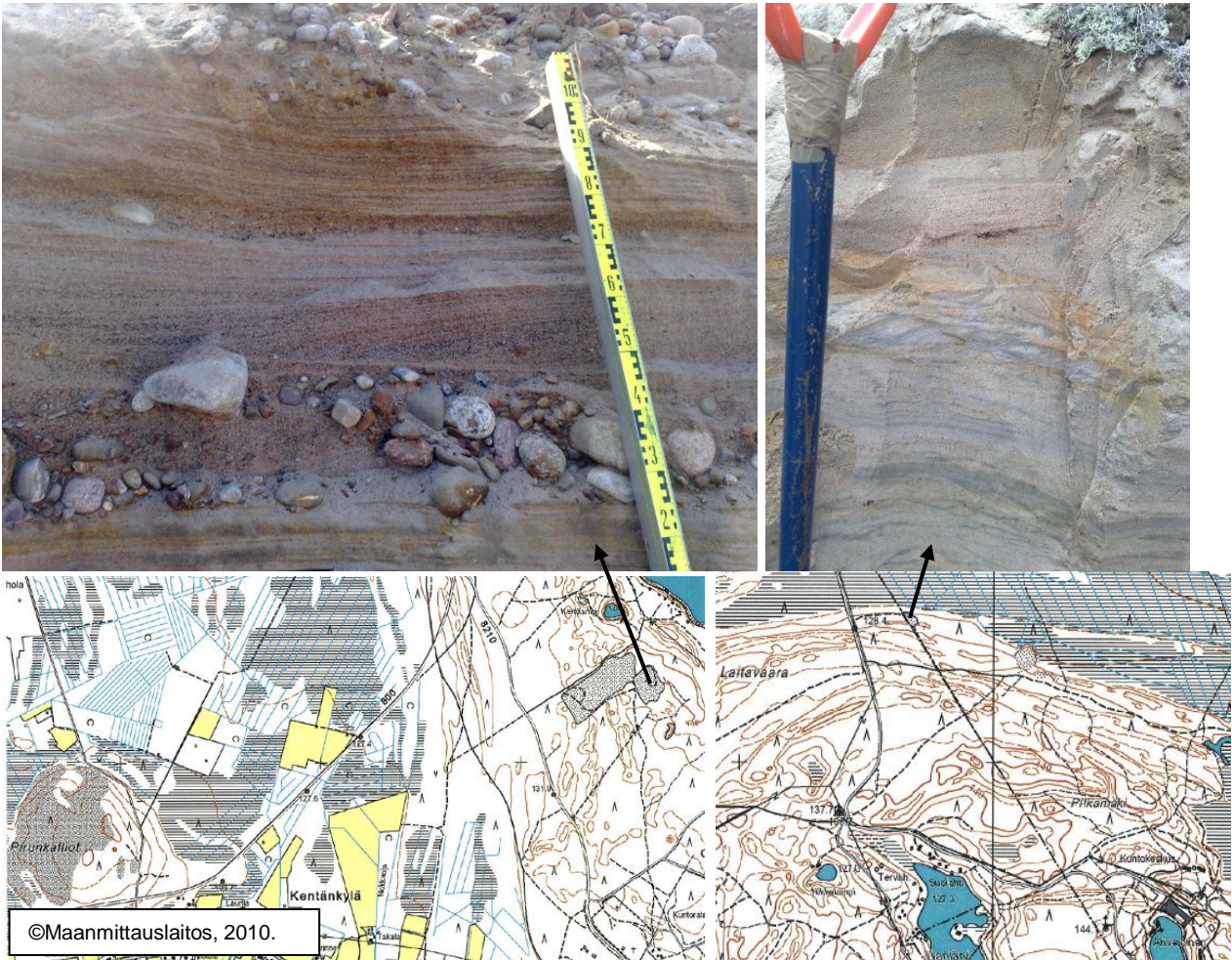
Kuva 2. Vasemmalla kalliopaljastuma Pelsonsuolla, oikealla Pirunkallion kalliopaljastuma. Pelson suon kalliopaljastuma kuuluu Svekofennisiin granitoideihin ja Pirunkallion paljastuma Pudasjärven kompleksiin. Kuvat H.Vikstedt.

Rokuan harjun maa-aines koostuu hienosta ja keskikarkeasta hiekasta, joka on pääosin kvartssia. Aartolahden (1973) tulkinnan mukaan hiekka on peräisin Muhoksen sedimenttikivialueelta, joka sijaitsee Rokualta luoteeseen. Jäätikön kulkusuunta alueella on ollut luoteesta kaakkoon.

Rokuan harjulla ja harjun ympäristössä on useita paikkoja, joista on pienemmässä tai isommassa mittakaavassa otettu maa-ainesta (kuva 3). Hiekkakuopista osa on jo kasvillisuuden peittämiä, osa on edelleen toiminnassa. Hiekkakuopilla veden virtakerrokselliset rakenteet näkyvät selvästi (kuva 4). Maa-aines on ottopaikoilla valtaosin hienoa hiekkaa. Oulujärven lounaispuolella sijaitsevassa maa-aineksen ottopaikassa on näkyvissä myös huonosti lajitteita karkeampia kiviaineskerroksia.



**Kuva 3. Maa-aineksen ottopaikkoja Rokualla. Vasemmalla oleva kuva Neittäväntien varrella olevasta maa-aineksen ottopaikasta, oikealla kuva Pyörösuolta. Kuvat H. Vikstedt.**



**Kuva 4. Maa-aineksen ottopaikkoja Oulujärven lounaispuolella ja Laitavaarassa. Vasemmalla kuvassa hienomman materiaalin päällä karkeampi huonosti lajittunut kerros. Oikealla Laitavaarasta virtaavan veden muodostamia kerroksellisia rakenteita. Kuvat H. Vikstedt.**

Rokuan eteläpuolella olevan Pelson alueella, soistuminen on alkanut järvien ja lampien umpeenkasvulla ja edennyt vaaralta tulevien pinta- ja pohjavesivalunnan vaikutuksesta tasaisemmalle maalle (Salmi 1952). Salmen (1952) Pelson suolta tekemien siitepölyanalyysien ja Okon (1955) Pyykönsuolta tekemien siitepölyanalyysien mukaan soistuminen on alkanut Rokuan ympäristössä 7000 – 6500 vuotta sitten. Pajusen (1995) tutkimuksen mukaan soistuminen on alkanut kaikista otollisimmilla paikoilla jo yli 8000 vuotta sitten, 1000 vuotta jään vetäytymisen jälkeen, välittömästi vedenrajan vetäydyttyä. Pajusen (1995) tutkimuslinjalla, joka sijaitsi harjun reunalta Luomasen alueen (kuva 5) poikki Luomasenkaarron toiselle puolelle Luomassuolle, saatiin kolmessa tutkimuspisteessä radiohiiliajoituksessa soistumisen ajankohdaksi yli 8000 vuotta. Turvekerrrosta paksuus on Pajusen (1995) mukaan kasvanut 0,7 mm vuodessa ennen vuotta 4500 ennen ajan laskumme alkua ja tämän jälkeen hidastui noin 0,6 mm vuodessa.

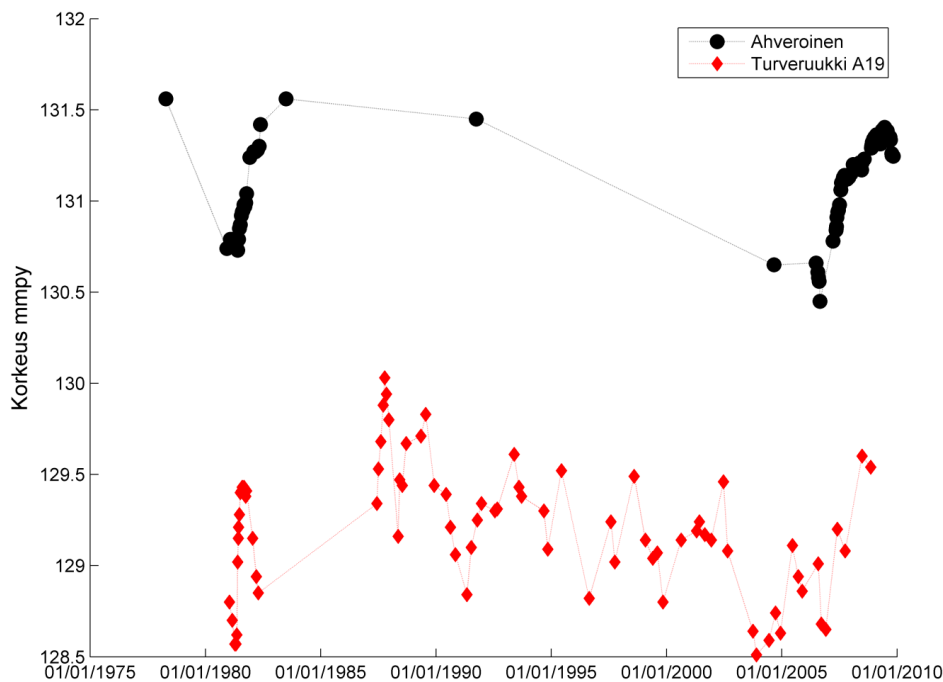


Kuva 5. Näkymä Luomasenaluselle. Kuva H.Vikstedt.

## 2.2 Järvien ja pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut

Järvien pinnankorkeudet alkoivat laskea 1970-luvun lopulla, vesien ollessa alimmillaan 1980-luvun taitteessa (Anttila ja Heikkinen 2007). Tämän johdosta Rokualla aloitettiin pinta- ja pohjavesien seuranta vuosina 1980 – 1982, mutta vedenpintojen tason palautuessa vuosina 1981 – 1982 seuranta lopetettiin. Viimeisin järvien merkittävä vedenpinnan alenema tapahtui noin vuosina 2004 – 2006, jolloin vedenpinnat alenivat eniten lasku-uomattomissa järvissä. Harjualueen järvien pinnankorkeuksista on Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen seuranta-aineistoa 1980-luvun alusta, sekä jatkuvampaa aineistoa järvien ja pohjaveden pinnoista alkaen vuodesta 2004 (Kuva 6).





**Kuva 6. Esimerkki pinnankorkeuksien pitkäaikaisseurannan aineistosta alueelta: Ahveroisen lammen korkeusvaihtelu sekä Turveruukin seurantaputken A19 mittaukset. Ahveroisen pinnankorkeuden seurannassa on käytetty apuna myös valokuvia.**

Merkittävin pitkän ajan aineisto alueen pohjaveden pinnankorkeuksista on Turveruukin seuranta Petäikönsuon turvetuotantoalueella kolme kertaa vuodessa 1987 alkaen. Osaa näistä putkista on käytetty myös vuosien 1980-1982 seurannassa (kuva 6). Vuotta 1980 edeltävää mitattua pitkäaikaista ja yhtenäistä seuranta-aineistoa järvien ja pohjavesien pinnankorkeuksista ei ole saatavilla. Alueella on tehty pohjavesitutkimuksia (mm. Tuomikoski, 1987; Miettunen, 1982), joissa pohjaveden pintaa on havainnoitu paikallisesti lyhyellä ajanjaksolla. Utajärven kunta on seurannut pohjavesipintoja Rokuan vedenottamon läheisyydessä vuodesta 1987. Aineiston käyttöä tutkimukseen ja alueen pohjavesipintojen trendien kuvaamiseen vaikeuttaa vaihteleva pohjaveden pumppaus, joka vaikuttaa seurantaputkien pintoihin. Lyhytkestoisia pinnankorkeuden seurantajaksoja myös järvistä on suoritettu ennen vuotta 1980 (mm. Salonen, 1972), mutta ne eivät ole vertailukelpoisia nykyiseen seurantaan puutteellisten korkeustietojen vuoksi.

Kaikki kerätty aineisto analysoitiin ja arkistoiitiin. Hajanaisen seurannan ja pääasiassa lyhyiden aikasarjojen perusteella pitkäaikaisia trendejä pinnankorkeuksissa oli vaikea tulkita. Selkein laskeva trendi pohjaveden pinnoissa havaittiin Turveruukin seurantapisteessä A19 (kuva 6), muissa seurantapisteissä trendit olivat maltillisempia. Järvien pinnankorkeusaineistot osoittavat enemmän ajoittaista, kuin pitkäaikaista vaihtelua.

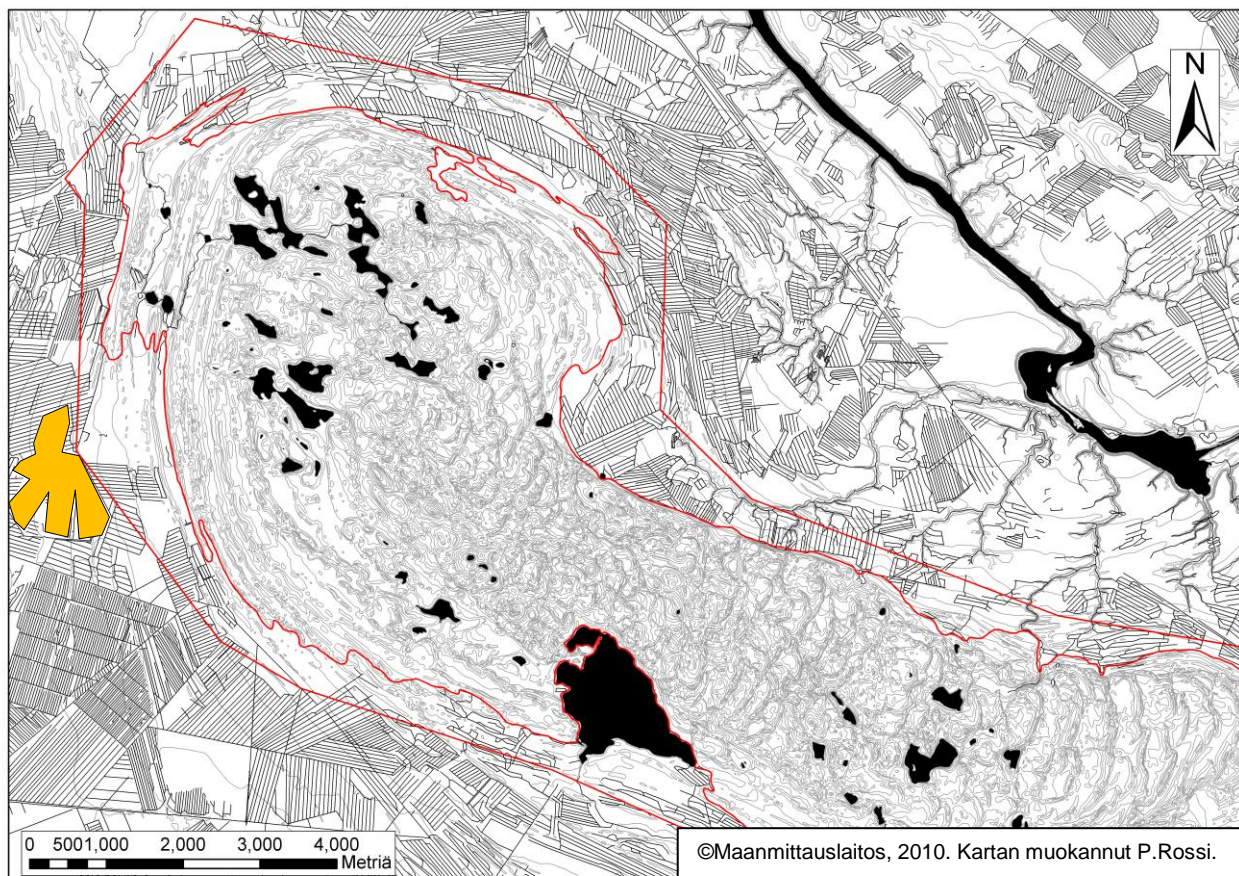
Rokuan alueen aiemmista hydrologisista tutkimuksista Tuomikoski (1987) päätyi alueen sadantaa ja haihduntaa tarkastelemalla tulokseen, että pinnan korkeuksien vaihtelut aiheutuivat alueen ilmaston vaihtelusta, eli muutoksista sadannan ja haihdunnan vuotuisissa suhteissa. Anttilan ja Heikkisen (2007) mukaan sadanta- ja

haihduntaolosuhteet eivät yksin selitä suurta vaihtelua järvien pinnankorkeuksissa vaan lasku aiheutuu monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta. He suosittelivat kiinnittämään huomiota alueella viimeisen 50 – 60 vuoden aikaisiin maankäytön muutoksiin, koska muutokset näkyvät pohjavesissä hitaasti. Erityisesti harjualueetta ympäröivien intensiivisten suo- ja metsäojitusten vaikutuksia Rokuan alueen vedenkorkeuksiin tulisi tutkia. Syitä on heidän mukaansa etsittävä lisäksi luonnollisesta pohjaveden pintojen vaihtelusta. Ansala (2007) haki selitystä järvien vedenpinnan alenemiselle mm. vertailemalla järvien vedenpinnan alaisen ja veden jättämän rantavyöhykkeen pohjasedimentin vedenjohtavuutta. Vedenläpäisevyys rantavyöhykkeellä oli kaikissa järvissä hieman suurempi kuin veden pinnan tasolla, mikä voi Ansalan mukaan osaltaan nopeuttaa pintavesien suotautumista pohjaveteen.

Ahveroisessa tehtiin vuonna 2007 Humanpolis Rokuan, Oulun yliopiston ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen toimesta vesitason nostamiskokeilu, jossa järveen pumpattiin 15.6.2007 – 9.10.2007 välisenä aikana 15 000 m<sup>3</sup> vettä Martinkankaan pohjavedenottamolta pumppausteholla 120 m<sup>3</sup>vrk<sup>-1</sup>. Vedenpinnan muutoksia seurattiin järvessä ja sitä ympäröivissä pohjavesiputkissa. Järven pinta nousi täyttökokeilun aikana 28 cm, kun muissa alueen seurantalammissa vedenpinta laski samalla ajanjaksolla 0-7 cm. Järven läheisyydessä olevissa pohjavesiputkissa havaittiin vedenpinnan nousua, kauemmissa havaintoputkissa vedenpinta muuttui vaihtelevasti. Pumppauksen lopettamisen jälkeen vedenpinta Ahveroisessa laski 2 cm vajaan kahden kuukauden aikana, kun muissa seurantalammissa vedenpinnat nousivat keskimäärin 4 cm. (Pohjois-Pohjanmaan Ympäristökeskus, 2010)

## 2.3 Alueen maankäyttö

Rokuaa ympäröivät suoalueet on suurilta osin ojitettu metsätalouden parantamiseksi (kuva 7). Suurin osa ojituksista on toteutettu 1960 - 1980-luvulla, mutta esimerkiksi alueen eteläpuolella olevia Pelson soita on ojitettu jo 1800-luvulla. Aiempina vuosikymmeninä toteutetut ojitukset ulottuvat myös Rokuan pohjavesialueelle. 2000-luvulla joitain lähialueen ojista on kunnostusojitettu ja yksittäisiä kunnostusojituksia on tehty myös pohjavesialueella. Metsähallituksen nykyohjeistuksessa todetaan, että ojitusta tärkeillä pohjavesialueilla tulisi välttää. Luokan I- ja II pohjavesialueilla suositellaan jätettäväksi 30 - 60 metriä leveä käsittelemätön reunavyöhyke pohjavesialueen ympärille. Tällä pyritään välttämään pohjaveden purkautumista (Hanski 2010, 88). Myös Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus on ohjeistanut välttämään uudistusojituksia pohjavesialueilla. Ojituksista pohjavesialueilla ei ole suoranaista lakia tai asetusta. Pohjaveden määrän muuttamista koskevat asetukset on kuitenkin esitetty vesilaissa (L 86/2000).



**Kuva 7. Rokuan harjualueetta ympäröivät metsäojitusalueet sekä keltaisella Turveruokin Petäikönsuon turvetuotantoalue. Punaisella on esitetty Rokuan pohjavesialue (sisempi pohjaveden muodostumisalue, ulompi pohjavesialueen raja).**

Rokuan länsipuolella ja eteläpuolella Pelson alueella sijaitsee kaksi turvetuotantoaluetta. Näistä lähimpänä, heti pohjavesialueen länsipuolella, on Turveruokin Petäikönsuo. Alue on ollut tuotannossa vuodesta 1987 ja siihen liittyen on seurattu pohjavedenpintoja tuotannon lähialueella (ks. kappale 2.2). Toinen alueella sijaitseva tuotantoalue on VAPO:n Pelson turvetuotantoalue, joka sijaitsee kolmen kilometriä lounaaseen pohjavesialueesta.

Rokuan pohjavesialueella tai sen välittömässä läheisyydessä ei ole suuria maanviljelyalueita. Neittävän, Ahmaksen ja Nuojuan kylissä on kuitenkin joitain peltopalstoja Rokuan läheisyydessä. Lähimmät suuret maanviljelyalueet löytyvät Pelson alueelta ja Ahmasjärven ympäristöstä.

Rokuan harjualueella sijaitsee Tilastokeskuksen tietojen mukaan 450 vapaa-ajan asumusta, joista moni sijaitsee järven rannassa. Lisäksi alueella on matkailuun liittyviä palveluita: Kuntokeskus, Hotelli, Seurakunnan leirikeskus sekä Opastuskeskus. Kuntokeskuksen vuosittainen kävijämäärä on noin 60 000. Rokuan Länsiosa on osa Natura 2000-verkostoa ja alueella on myös vuonna 1956 perustettu kansallispuisto, jossa vuonna 2009 oli 23 500 kävijää.

### 3 Geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset

Tutkimusalueen laajuudesta johtuen maaperätutkimuksessa valittiin tutkimusmenetelmiksi maatulka- ja seisminen luotaus. Tulkintojen perusteella valittiin alueelta kairauspisteet. Kairauksilla pyrittiin varmistamaan luotausten tulkinat. Lisäksi kairausten yhteydessä alueelle asennettiin uusia pohjavesiputkia.

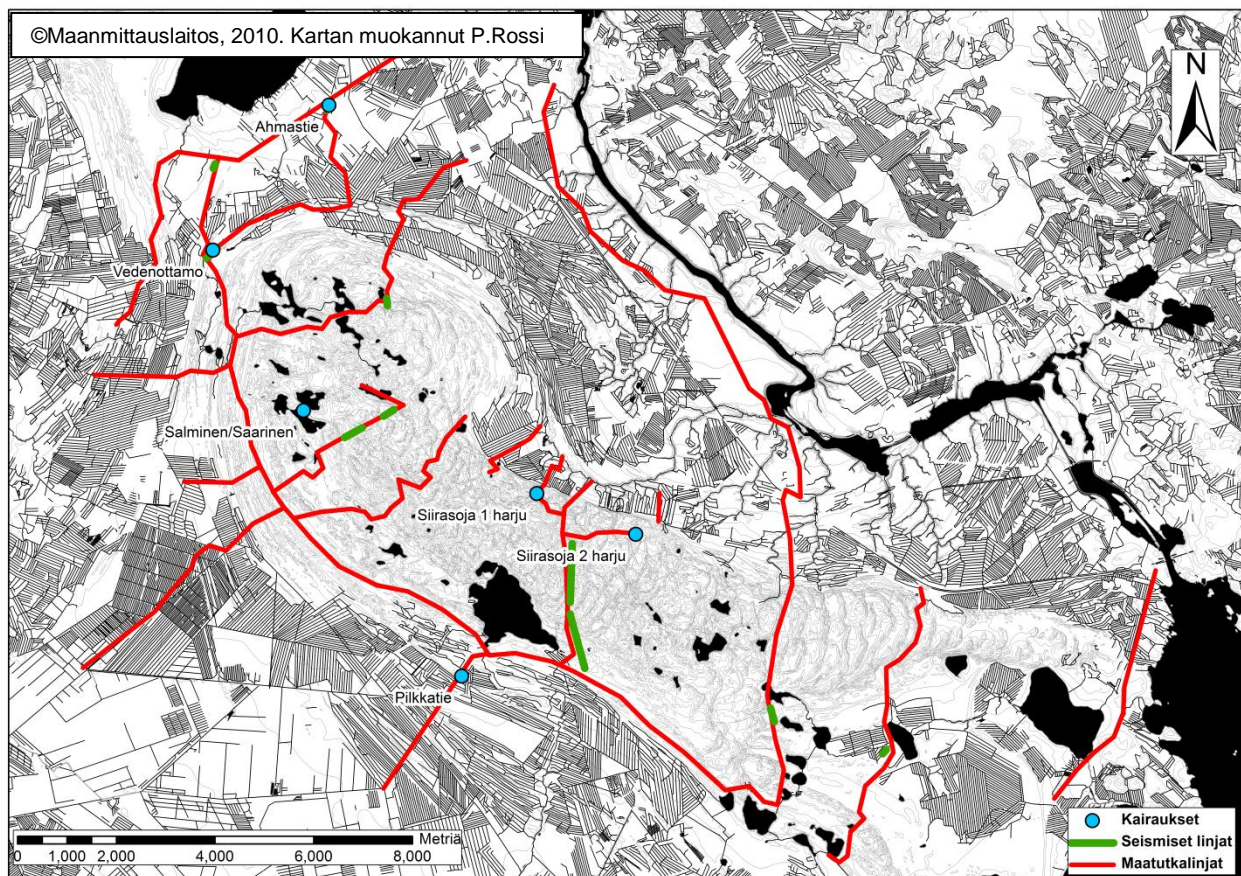
#### 3.1 Maatulkaluotaus

Maatulkaluotaus perustuu maahan suunnattujen elektromagneettisten pulssien syöttämiseen maaperään. Osa sähköisistä pulsseista heijastuu takaisin sähköisiltä ominaisuuksiltaan poikkeavilta raja-pinnoilta. Heijasteet mitataan ja tutkakuvassa heijastusten amplitudi esitetään kulkuajan funktiona. Mikäli maaperässä esiintyy sähköisesti johtavia kerroksia (kuten savi), ei menetelmä sovellu tutkimuksiin. Maatulka-antennilla pääsee 100 MHz taajuudella parhaimmillaan noin 30 metrin syvyyteen. Syvyyslottomuus 50 MHz antennilla on hieman suurempi.



Kuva 8. Maatulkalaitteisto. Kuva H.Vikstedt.

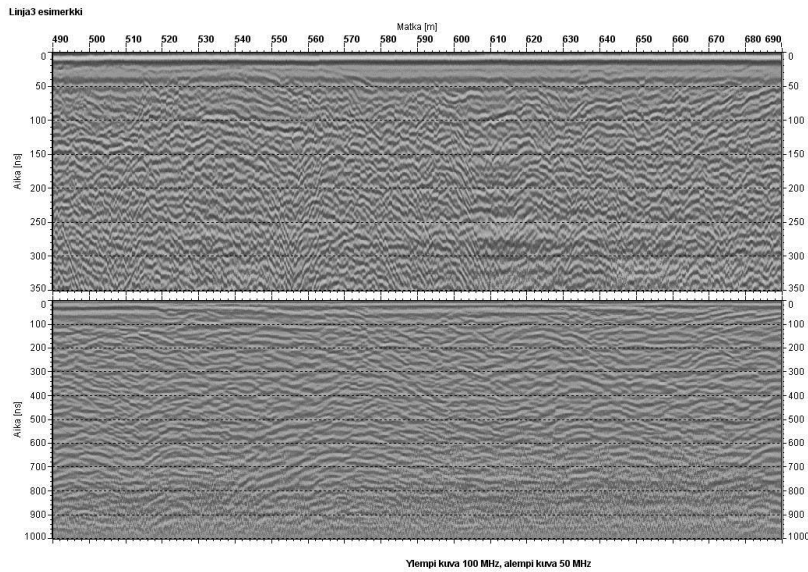
Maatulkaluotaus tehtiin sekä 50 että 100 MHz antennilla. Maatulkaluotauslinjoja vedettiin Rokuan harjulla ja harjun ympäristössä yhteensä noin 150 km. Maatulka-aineiston käsitteli geofyysikko Mikko Mali. Maatulkalaitteisto on esitetty kuvassa 8 ja tutkalinjojen sijainti Rokuan harjulla kuvassa 9.



**Kuva 9. Maatutkalinjojen, seismisten refraktioluotauslinjojen sekä kalliovarmistuskairausten sijainti Rokuaalla.**

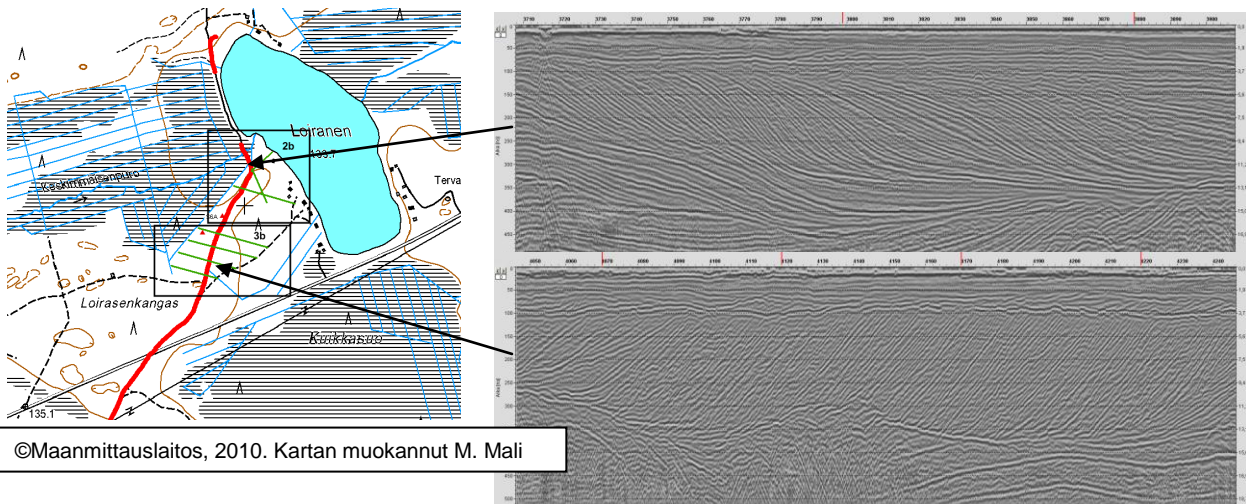
Maatutkaluotauksen tulkintojen perusteella harjun aines oli suurimmaksi osaksi homogeenista hiekkaa tai hienoa hiekkaa (kuva 10). Karkeaa soraydintä ei maatutkaluotauksuvien avulla paikannettu, mutta viitteitä karkeammasta aineksestä löytyi Rokuan pohjavesipumppaamon läheisyydestä. Pohjavesipumppaamon läheisyydestä maatutkakuvissa havaittu karkeampi aines osoittautui kairauksissa moreeniksi. Maatutkaluotauksen kuvissa oli paikoin tulkittavissa jäätikköjokien synnyttämiä rakenteita (kuva 11).

Silttikerroksia ei maatutkakuvista juurikaan tulkittu. Pookinvaaralla, jossa sijaitsee harjun korkeimmassa kohdassa kaivo, on oletettu olevan pohjavettä salpaava silttikerros (Tuomikoski, 1987). Maatutkakuvissa oli viitteitä ohuehkosta hienoaineskerroksesta, mutta koska alue kuuluu luonnonsuojelualueeseen, ei asiaa varmennettu kairauksella.



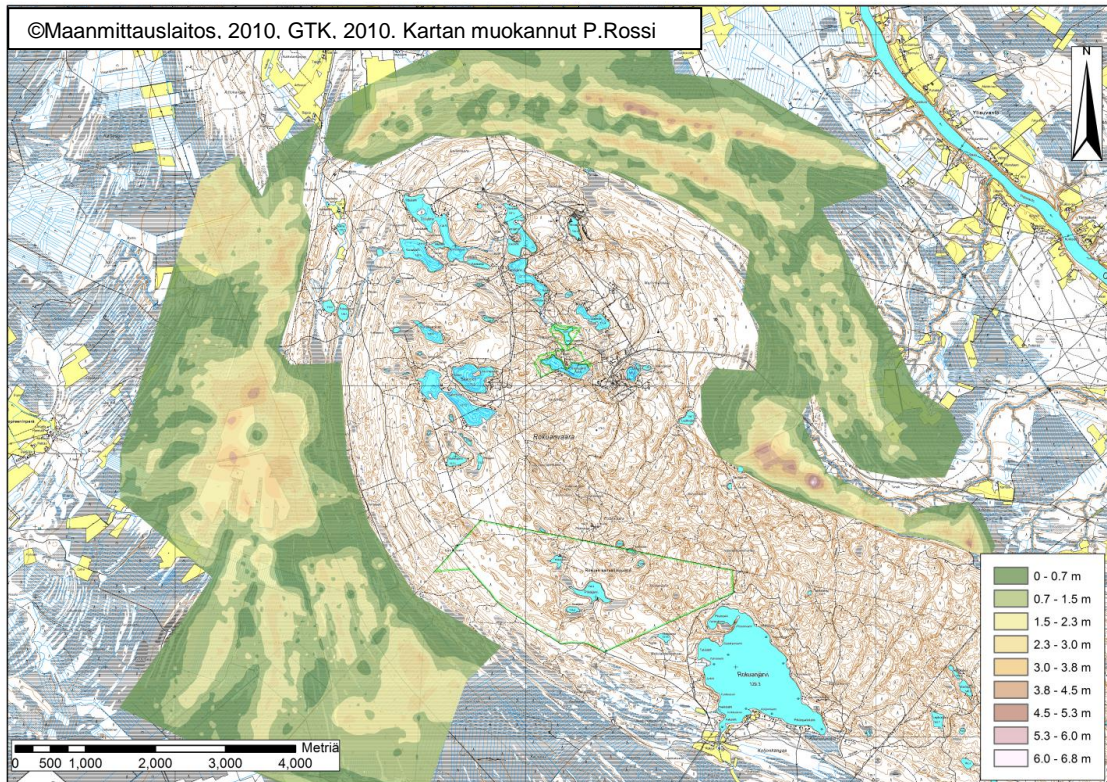
**Kuva 10. Tyypillinen maatutkaluotauskuva Rokuan alueelta. Aineiston käsittely M.Mali.**

Kallionpinta paikannettiin maatutkalla useissa paikoissa harjualueen ympäristössä. Kallionpinta tulkittiin tutkakuvista esimerkiksi harjun länsipuolella Ahmaksella, harjun eteläpuolella Pilkkatiellä ja harjun itäosissa Loirasen järven läheisyydessä. Lisäksi kallionpinta varmistettiin kairauksilla kuudessa eri pisteessä.



**Kuva 11. Esimerkki jäätikköjokien kerrostamista sedimenteistä Loirasen ympäristössä. Luotauksessa on käytetty 100 MHz antennia. Aineiston käsittely M.Mali.**

Rokuan harjun ympäristön turvepaksuuksia tutkittiin maatutkaluotauksilla useista kohteista (kuva 12). Turvepaksuuksien arvioinnissa on lisäksi käytetty apuna Turveruokin kartoituksia ja GTK turvepaksuuskartoituksia (Pajunen 1990, 1993 ja 2009, Häikiö 2008).

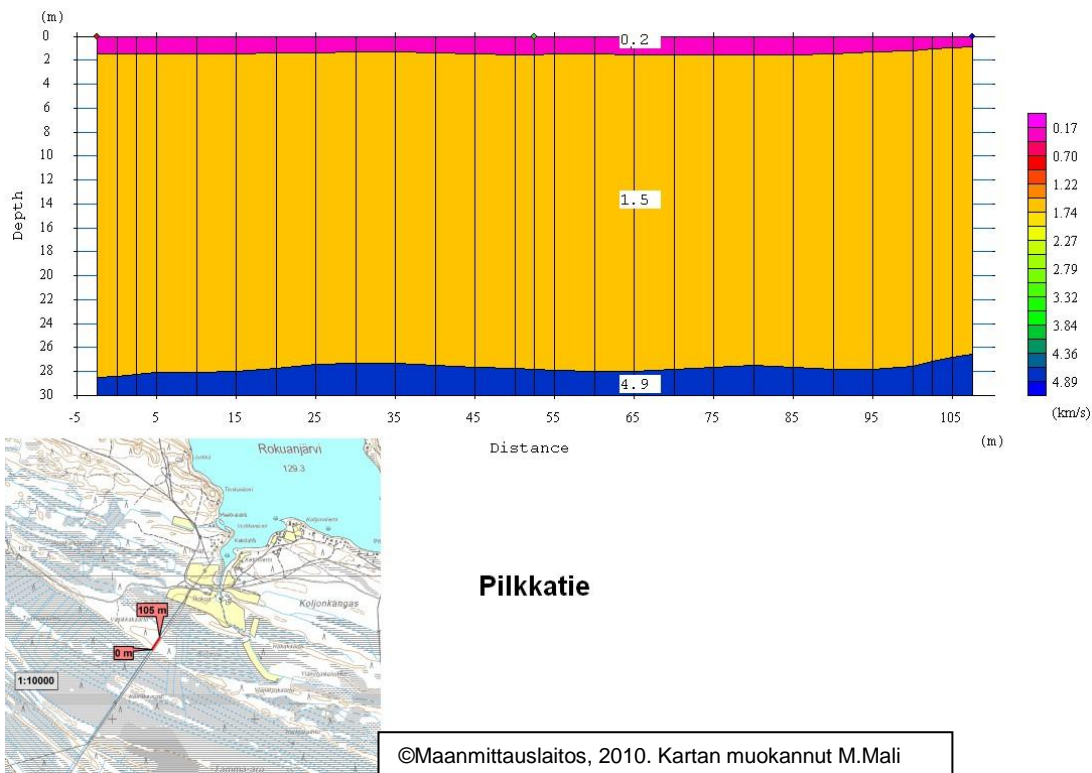


**Kuva 12. Arvio Turvepaksuudesta Rokuan harjun ympäristössä. Kartta perustuu GTK:n turvepaksuuskartoituksiin, Turveruukin aineistoon sekä hankkeen aikana tehtyihin maatulvaluotauksiin ja muihin kenttätarkasteluihin.**

### 3.2 Seismiset luotaukset

Seisminen luotaus perustuu täryaaltojen etenemiseen erilaisissa maakerroksissa sekä täryaaltojen taittumiseen rajapinnoissa. Vasaraa käyttämällä voidaan sopivissa olosuhteissa päästä 30 metrin syvyysulottuvuuteen seismisten rajapintojen luotauksessa (Reynolds, 1997). Panostusta käyttämällä saadaan suurempi syvyysulottuvuus. Seisminen luotaus soveltuu käytettäväksi silloin, kun aalloilla on eri nopeus eri geologisissa kerroksissa, nopeuskontrastit ovat suuria sekä kerrosten nopeudet kasvavat syvyydessä alaspäin mentäessä. Virheitä seismisessä taittumislouotauksessa aiheuttavat ohuet kerrokset ja hitaan nopeuden kerrokset.

Seismistä tutkimusta tehtiin vasaraseismisenä luotauksena sekä räjähdysainepanostuksella. Seismisten linjojen yhteispituus on noin 5 km (kuva 9). Seismisen aineiston käsitteli geofyysikko Mikko Mali. Suuret maanpinnan korkeuserot alueella lisäsivät tulkinnan haasteellisuutta. Seisminen luotaus antoi alueen maaperästä yhtäläisiä tuloksia kuin maatulvaluotaus. Kallionpinta paikannettiin seismisellä luotauksella useissa kohteissa (esim. kuva 13).



**Kuva 13. Pilkkatien seismisen luotauksen tulkinta. Vaaleanpunainen ja keltainen kerros edustavat maaperää ja sininen kalliota. Aineiston käsitellyt M.Mali.**

### 3.3 Kairaukset

Kairauksilla varmennettiin maatutka- ja seismisen luotauksen tulkintaa. Kairauksilla haettiin lisätietoa mahdollisesti pohjavesialuetta rajaavista kalliomuodoista. Samalla alueen pohjavesiputkiverkostoa laajennettiin lisäämällä pohjavesiputkia. Kaksi kalliopintaan saakka ulottuvaa kairausta tehtiin heinäkuussa 2009 Siirasojan läheisyyteen (kuva 15). Maaperän paksuus oli kairauskohdissa 82 m, kairausreikiin asennettiin samalla pohjavesiputket (kuva 14). Syväreistä otetuista näytteistä maalaji analysoitiin seulonnan perusteella 13 eri syvyydeltä. Analyysit tehtiin noin 1 – 1,5 metrin pituisista näytesarjoista, kolmessa sarjassa kyseessä oli pitempi näyte. Näytteet olivat keskikarkeaa tai hienoa hiekkaa. Ainoastaan 52-57 metrin syvyydeltä otettu maanäyte oli karkeaa silttiä.

Kairauksia tehtiin lisää marraskuussa 2010. Ahmakselle kairattiin kalliovarmennus maatutka-aineiston perusteella (Kuva 16). Kairareikään asennettiin samalla pohjavesiputki. Rokuan pohjavesipumppaamon läheisyyteen harjun länsipäähän tehtiin kalliovarmennus sekä asennettiin pohjavesiputki (Kuva 17). Saarisen ja Salmisen väliselle kannaksella varmennettiin kalliopinta sekä asennettiin pohjavesiputki. Rokuanjärven eteläpuolelle, Pilkkatien varrelle tehtiin kalliopinnan varmennus (Kuva 16). Kohteista otettiin maaperänäytteet viiden metrin välein. Kaikki kairauspisteet on esitetty kuvassa 9.

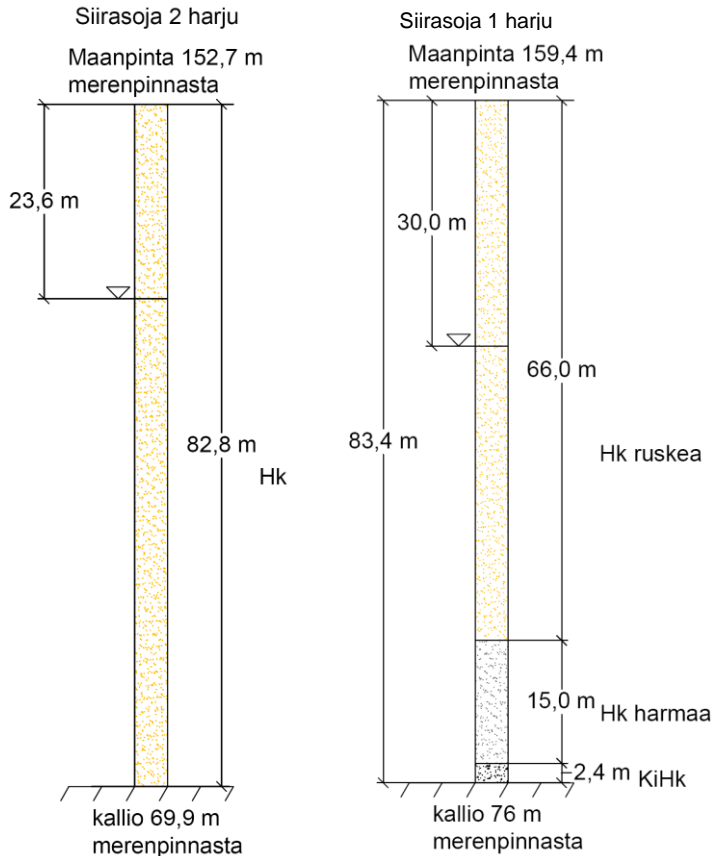
Kairaukset tukivat luotausten tulkintoja. Kairausnäytteet olivat suurelta osin hiekkaa ja varsin homogeenisia. Saarisen ja Salmisen välisellä kannaksella kairauksessa löytyi viiden metrin kerros silttistä hiekkaa ja lähes 40 metriä soraa kalliota peittävän moreenikerroksen



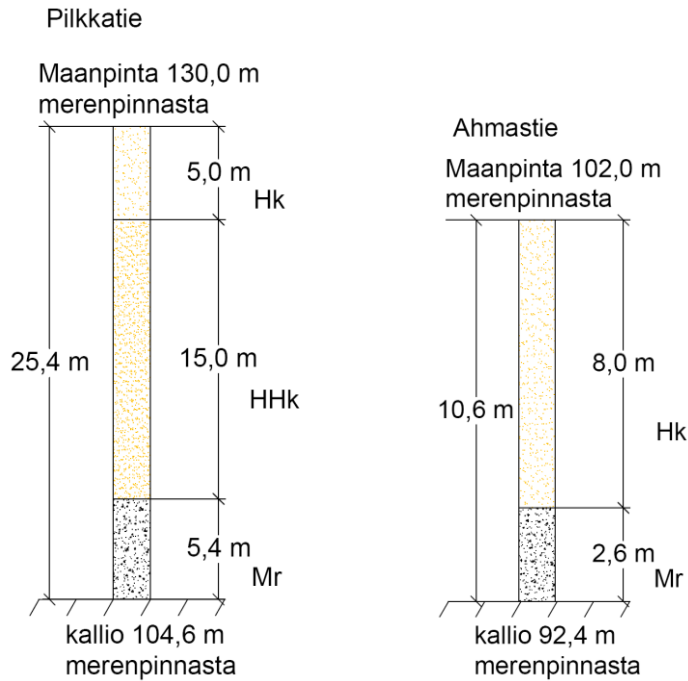
päältä (kuva 17). Kallionpinta oli kairauspaikassa 100 metriä maan pinnasta. Kaikkien määriteltyjen kallionkorkeuspisteiden mukaan alueelta on tehty kallionpintatarkastelu (kuva 18).



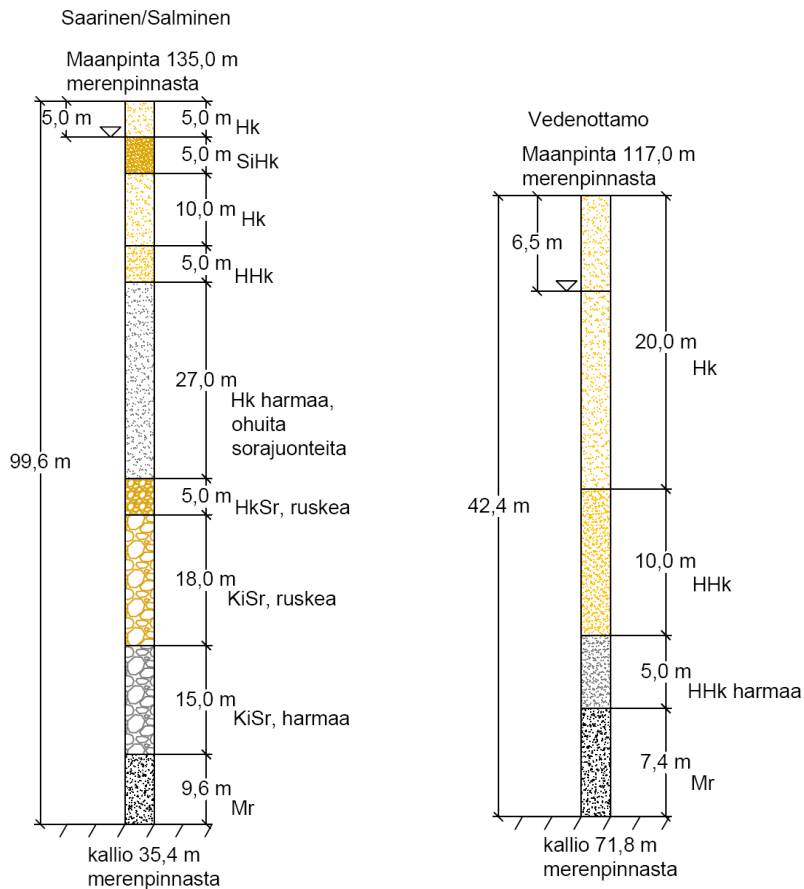
**Kuva 14. Pohjavesien putkien asennus.**  
Kuva H.Vikstedt.



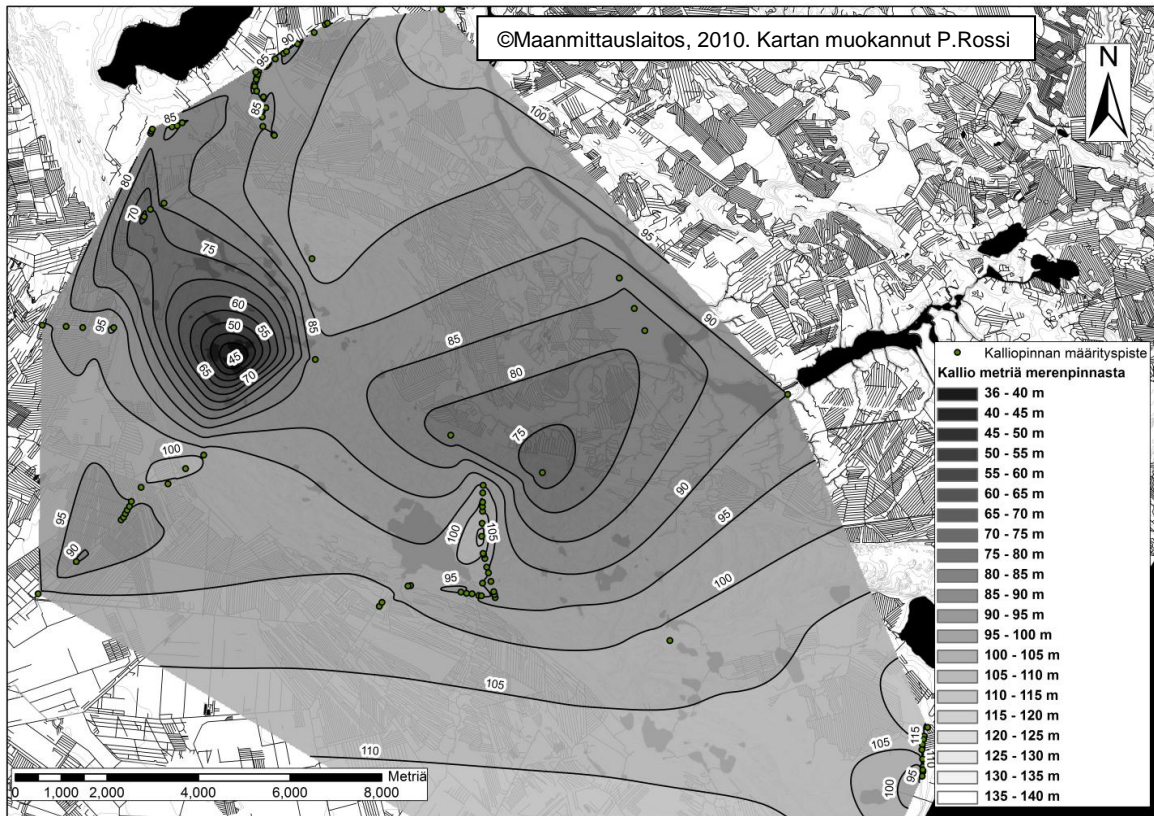
**Kuva 15. Siirasojan kairauksen profiilit. Profiilit eivät ole samassa mittakaavassa.**



**Kuva 16. Piilkkatien ja Ahmastien kairausten profiilit. Profiilit eivät ole samassa mittakaavassa.**



**Kuva 17. Saarisen ja vedenottamon kairausten profiilit. Profiilit eivät ole samassa mittakaavassa.**

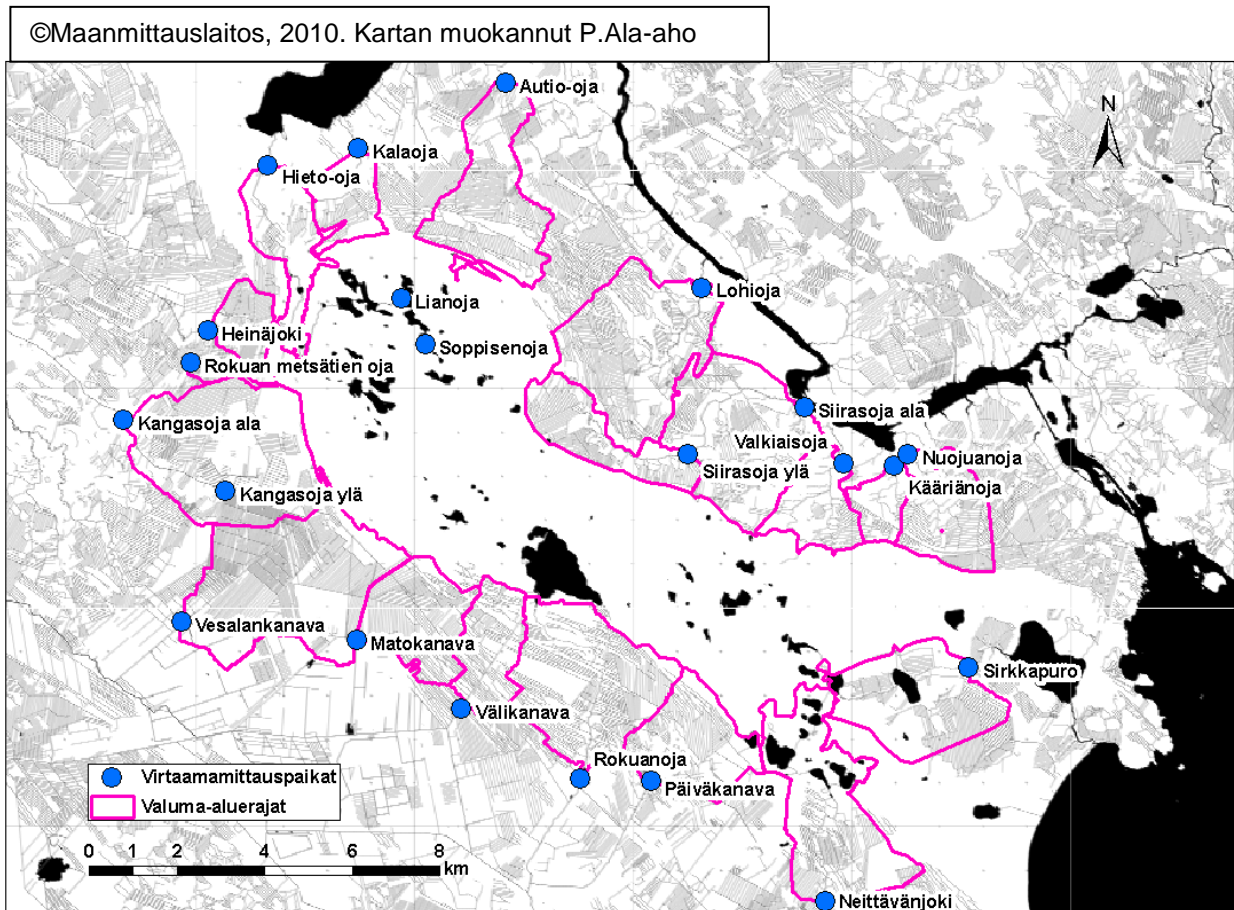


Kuva 18. Arvio kalliokorkeuksista ja kalliön määrittämyspisteet Rokuan alueella.

## 4 Hydrologia

### 4.1 Ojavirtaamat

Koko harjualueen kattavia virtaamamittauksia tehtiin aikavälillä 11.3.2009 – 27.10.2010 yhteensä 13 kertaa, eli poisvirtaama harjulta mitattiin keskimäärin puolentoista kuukauden (46 vrk) välein. Mittauspaikat (kuva 19) valittiin kartta- ja kenttätarkastelun perusteella siten, että harjulta uomia pitkin poistuva virtaama ja virtaaman vuodenaikaisvaihtelu saataisiin kokonaisuudessaan määritettyä. Harjun pohjoisosan järviä yhdistävien ojen virtaamia seurattiin kahdesta kohtaa. Virtaamamittauspaikoille määritettiin valuma-alueet pääasiassa ArcGIS-ohjelmiston työkalujen ja karttataarkastelun avulla, käyttäen joillakin alueilla apuna kenttätarkasteluja. Virtaamat mitattiin minisiivikolla (kuva 20) ja tulokset käsiteltiin SYKE:n tuottamalla VIRTAAMA-ohjelmistolla.

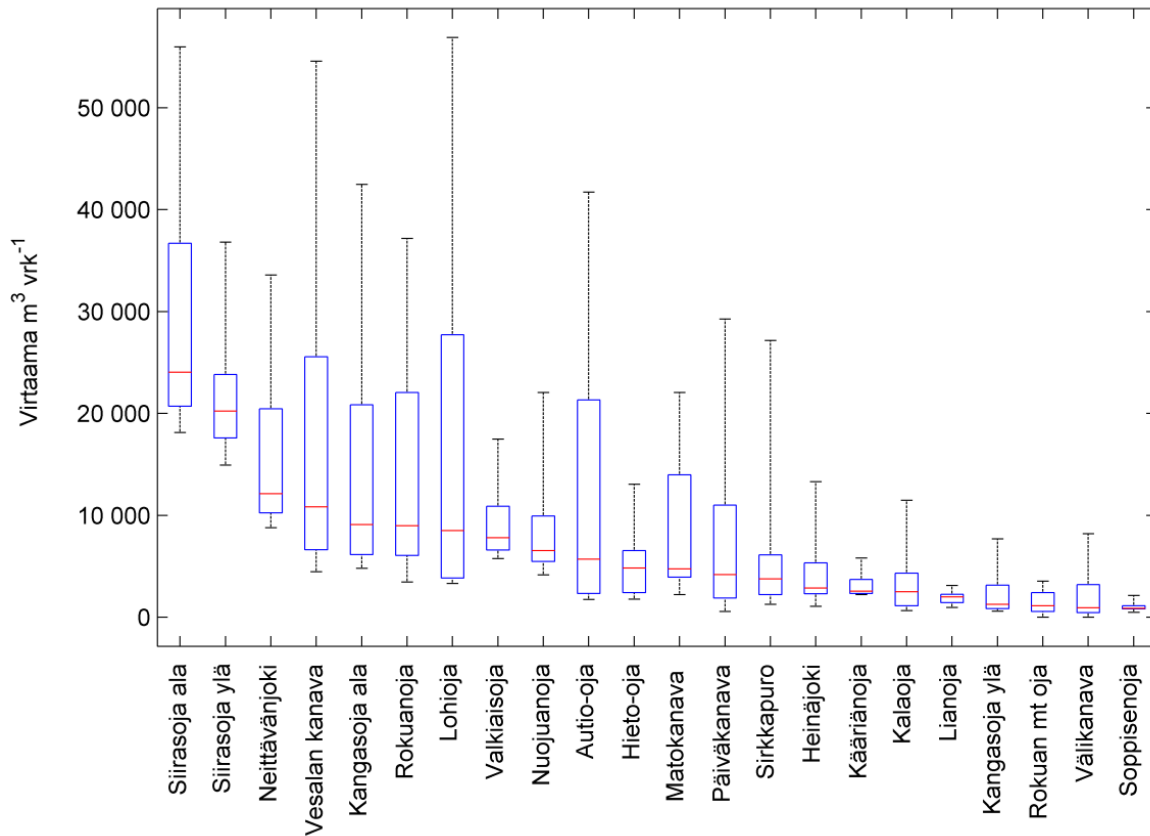


Kuva 19. Virtaamamittauspaikat ja uomien valuma-alueiden rajat.



**Kuva 20. Virtaamamittauksia talvella ja kesällä. Kuvat T.Reinikka ja V.Kupiainen.**

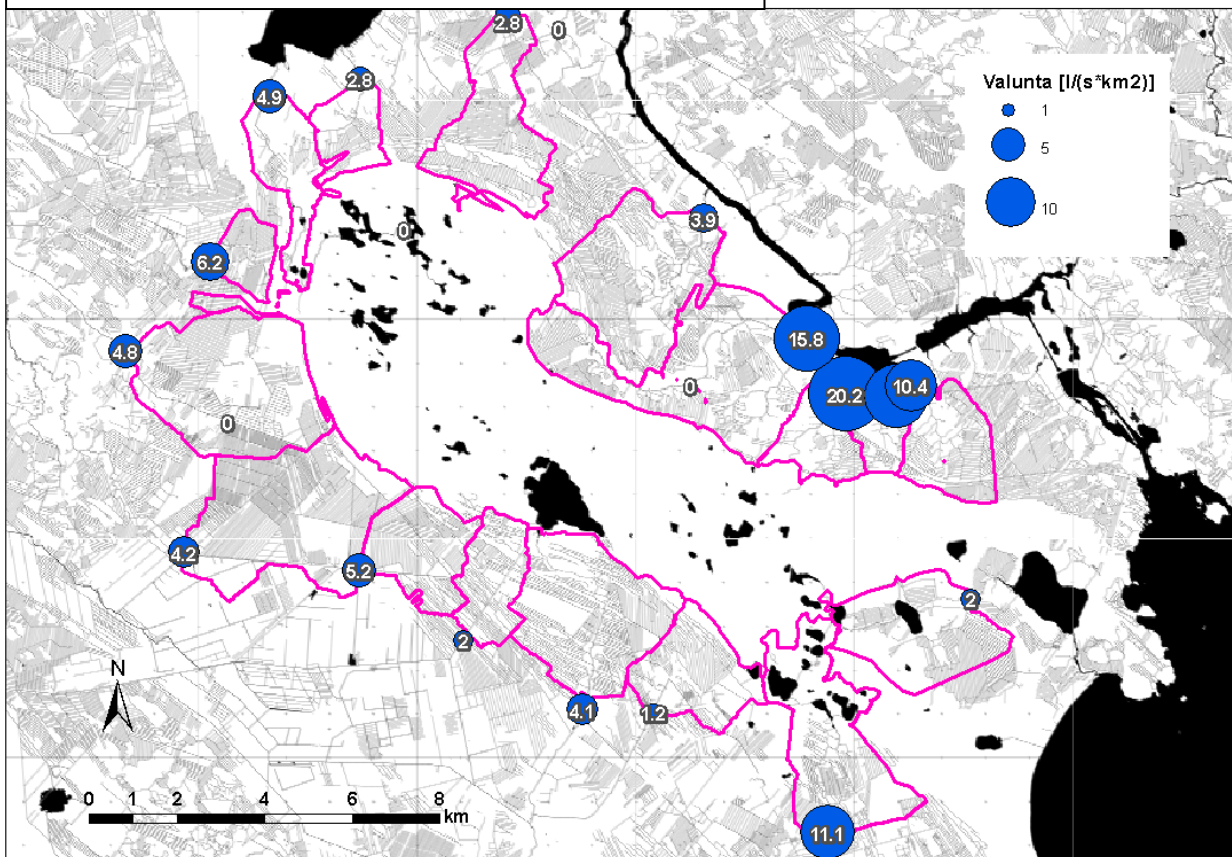
Virtaamamittausten tulokset on esitetty kuvissa 21 ja 22. Kuvasta 21 nähdään virtaamien erityyppinen jakautuminen mittauspaikoittain. Suuri vaihteluväli (esim. Vesalan kanava, Lohioja, Autio-oja) kertoo pintavalunnan muodostavan suurimman osa valuma-alueen virtaamasta. Pienen vaihteluvälin mittapaikoissa (esim. Siirasoja ylä, Valkiaisoja, Kääriänoja) suurempi osuus virtaamasta koostuu omaan purkautuvasta pohjavedestä, jolloin virtaamat pysyvät tasaisempina läpi vuoden.



**Kuva 21. Virtaamamittausten tulokset, joissa viiva pylvään sisällä edustaa mittausten mediaania, ja pylvästen pituudet mittausten vaihteluväliä.**

Tarkasteltaessa harjulta poistuvaa virtaamaa, virtaamamittauspaikoista jätetään huomioimatta valuma-alueiden yläjuoksujen mittaukset: Soppisenoja, Lianoja, Kangasojan yläjuoksu ja Siirasojan yläjuoksu (ks. kuva 19). Mittauspaikkojen yhteenlasketut virtaamat on esitetty kuvassa 22. Kuvasta nähdään selkeät virtaaman maksimi-arvot lumen sulannan aikana.





Kuva 23. Alivaluma Rokuan harjun ympäristössä on suurinta harjun koillisosassa sekä kaakossa Neittävänjoella.

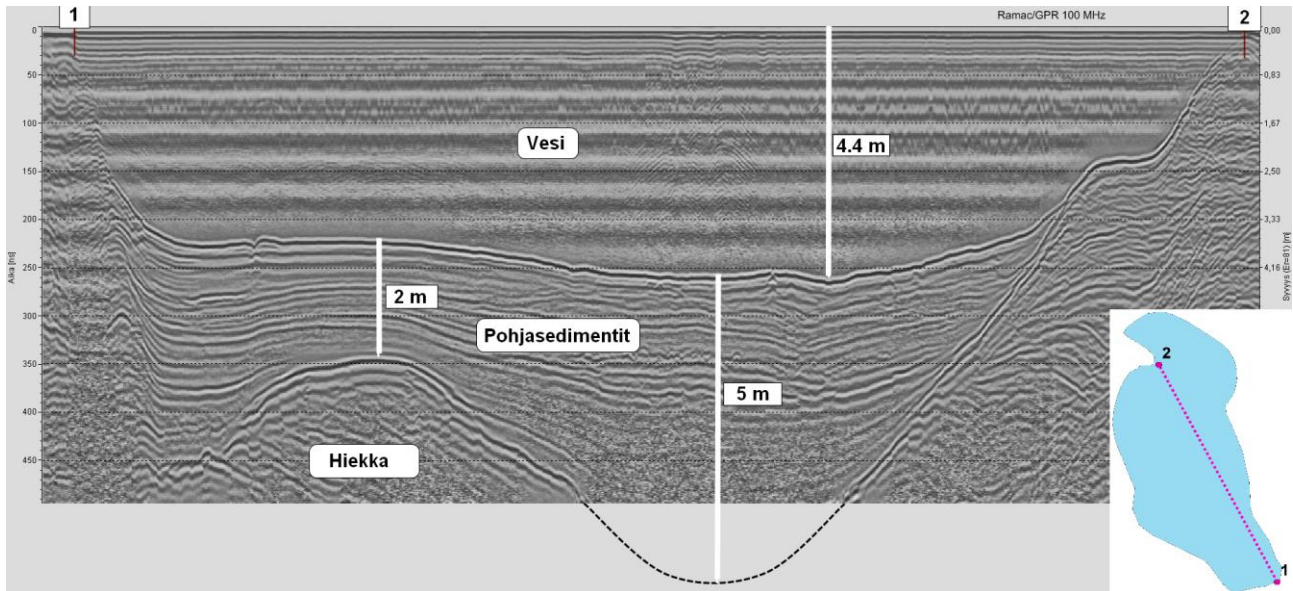
Mustonen (1973) on esittänyt Pohjois-Suomen talven keskialivaluma-arvojen olevan luokkaa  $1,6 - 3,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ . Rokuan alivaluma-arvojen voidaan todeta olevan kauttaaltaan hieman keskimääräistä suurempia, joidenkin ojien alivalumien ollessa huomattavan suuria. Tulokset kertovat suurimman pohjaveden purkautumisen keskittyvän selkeästi tietyille alueille. Suurimmat virhelähteet virtaamatarkastelussa tulevat virheistä siivikkomittauksissa (virhemarginaali n. 10%), valuma-alueiden määrittämisessä ja epävarmuudesta todellisen paikkakohtaisen minimivirtaaman tavoittamisessa.

## 4.2 Järvien hydrologia

Rokuan pohjavesivaikutteisten järvien hydrologia on ollut jo pitkään tutkimuksen kohteena, mutta monimutkainen vuorovaikutussuhde järvien ja pohjaveden välillä on säilynyt pääosin kysymysmerkinä. Yleisesti järveen voi virrata vettä ympäröivästä pohjavedestä, järvestä voi poistua vettä pohjaveteen, tai molemmat tilanteet voivat esiintyä samanaikaisesti eri osissa järveä (ks. kuvat 29 ja 30). Virtauksen suunta ja nopeus voivat vaihdella paitsi alueellisesti järven eri osissa, myös ajallisesti pohjaveden ja järvien pinnankorkeuksien vaihdelta. Pääsääntöisesti Rokuan harjualueella sijaitsevat lasku-uomattomat suppajärvet ovat olleet vedenlaadultaan erinomaisia, mutta veden pinnankorkeus on kyseisissä järvissä vaihdellut merkittävästi. Lasku-uomallisissa järvissä vedenpinta on pysynyt tasaisempaan, mutta veden laatu on ollut huomattavasti heikompi.



Järvien läheisyydessä tehtyjen geofysikaalisten tutkimusten (kuva 24.) perusteella Rokuan harjualueen järvet eivät ole ns. orsivesiesiintymiä, joissa järvi on muodostunut heikosti vettä johtavan maakerroksen päälle. Järvien pohjasedimenttien voidaan kuitenkin olettaa vaikuttavan järvien ja pohjaveden vuorovaikutukseen, vähentäen pohjavesivirtauksia järven keskiosissa syvimpien sedimenttikerrosten alueella.



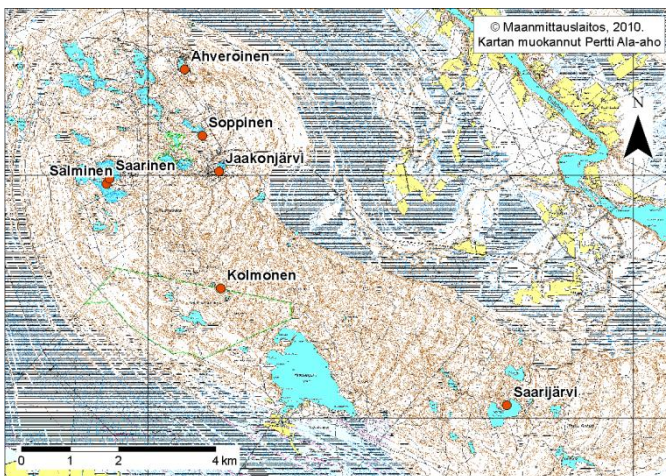
Kuva 24. Maatutkakuvaa Ahveroisen pohjasta. Tulkinnat M. Mali.

Maatutkan tulkintoja varmennettiin Ahveroisen lammessa sedimenttinäytteenoton yhteydessä. Sedimenttinäytteenotolla tutkittiin pohjasedimentin koostumusta ja vedenjohtavuutta, sekä sedimentin huokosveden laatua (kuva 25). Sedimenttinäytteitä otettiin syvimmästä 4,7 m vesisyvyydestä, 0,5 – 5,0 metrin syvyydestä sedimentin yläpinnasta katsottuna. Näytteet otettiin venäläistyypisellä suokairalla. Lisäksi Ahveroisesta otettiin sedimenttinäytteitä järven eteläpäästä, josta pohjavesi purkautuu järveen. Näyte otettiin 0-0,7 metrin syvyydestä pohjasta. Järven pohjoispäästä, jossa vettä suotautuu pohjaveteen, otettiin näyte 0,1-0,5 metrin syvyydestä pohjasta. Vesisyvyys oli näytteenottopisteissä sekä etelä- että pohjoispäässä 1,4 metriä. Järvestä otettiin lisäksi vesinäytteitä syvänteestä ja eteläpään näytepisteistä. Ahveroisen sedimenttinäytteestä analysoitiin vesipitoisuus sekä tehtiin raekokoanalyysi.

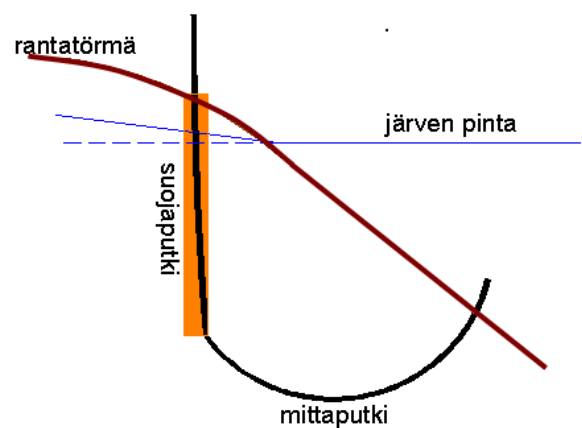


Kuva 25 Sedimenttinäytteenottoa Ahveroiselta. Kuvat P.Ala-aho.

Seitsemään alueella sijaitsevaan järveen asennettiin pysyvät pinnankorkeuden seurantapisteet (kuva 26). Asennus tehtiin ELY-keskuksen käyttämällä menetelmällä. Asennuksen suojaputkena käytettiin 160x2000 mm PVC putki, joka tyhjennettiin hiekasta. Asennetun suojaputken läpi sujutettiin vesipaineen avulla yhtenäinen, halkaisijaltaan 40 mm PEM putki, joka tuli läpi järven pohjasta. Pinnankorkeus järvestä ja mittaputkessa on sama, joten järven pinnankorkeutta voidaan seurata rantaan jäävästä mittaputken päästä jatkuvatoimisesti vastaavasti kuin pohjavesiputkissa. Menetelmällä vähennetään myös talviaikaisen jääkannen aiheuttamia ongelmia mittauksissa.



Kuva 26. Asennetut järvien pinnankorkeuden seurantapisteet



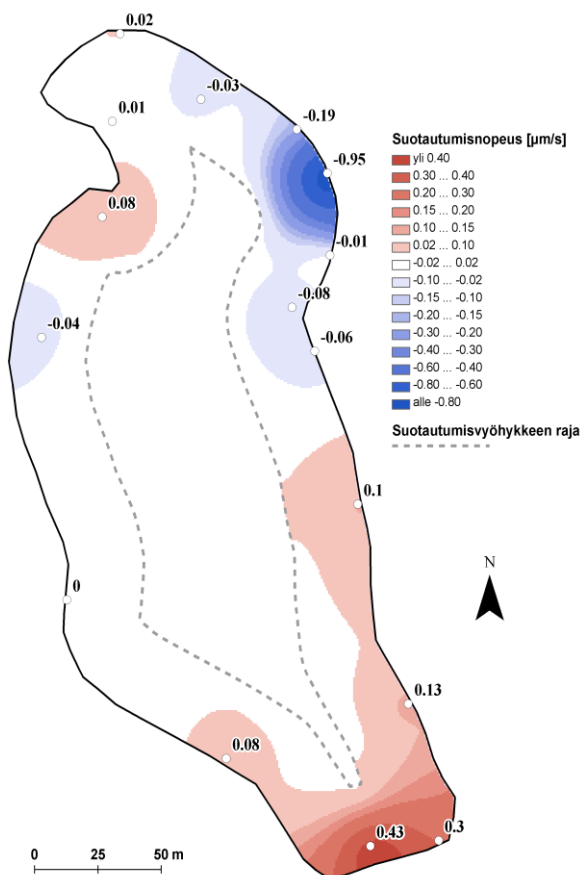
Kuva 27. Periaatekuva järviseurantapisteestä

#### 4.2.1 Ahveroisen lammen hydrologia

Tarkemman kuvan saavuttamiseksi alueen järvien ja pohjaveden vuorovaikutuksesta alueella, koekohteeksi valitun Ahveroisen lammen hydrologiaa tutkittiin eri menetelmiin. Kenttätutkimuksissa käytettiin suotautumismittareita (Kuva 28), joilla määritettiin suotautumisen suunta ja nopeus sekä järven rantaviivan läheisyydessä että eri syvyyksillä järvestä.



Kuva 28. Suotautumismittauslaitteisto (vas. kuva R. Eskelinen) ja laitteiston asennus (oik. kuva P. Rossi)



Kuva 29. Suotautumisen alueellinen jakautuminen syksyllä 2009. Punaisilla alueilla mitattiin järveen tulevaa, sinisillä järvestä poistuvaa virtausta.

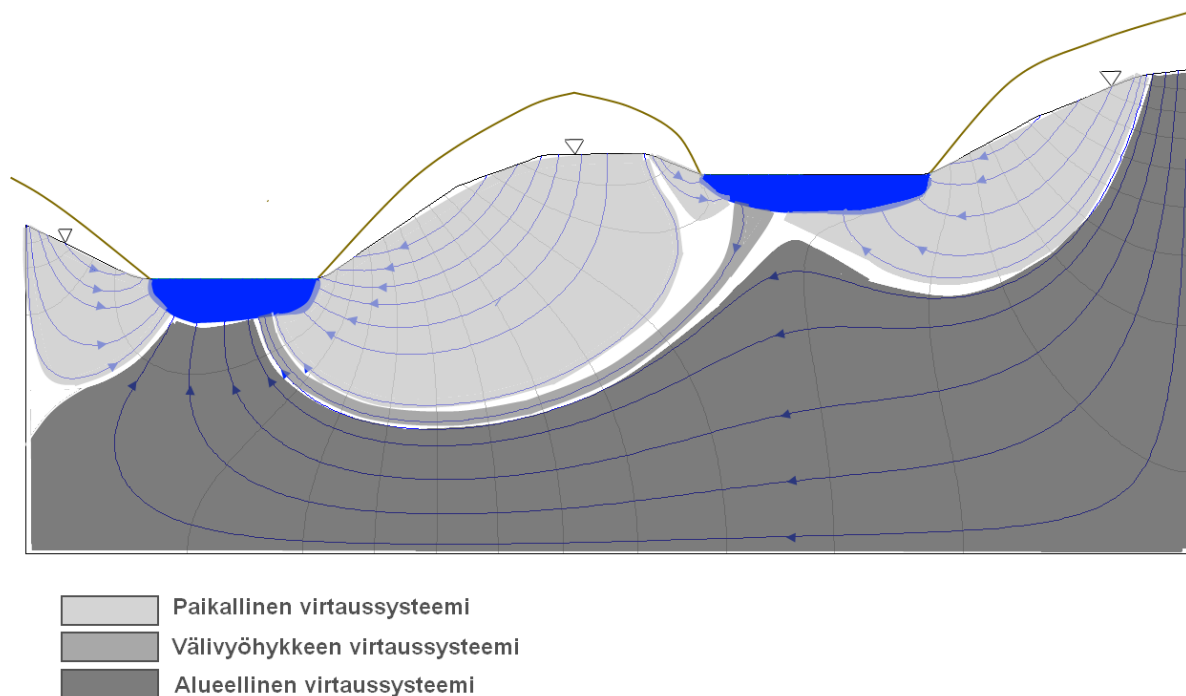
Vuonna 2009 tehtyjen suotautumismittausten tuloksina lampeen tulevan pohjavesivirtauksen alueeksi määritettiin järven etelä- ja kaakkoisosat (kuva 29). Lammesta pohjaveteen poistuvan virtauksen alueeksi tunnistettiin lammen koillisosat. Vuonna 2010 tehtiin läpi sulan kauden kestänyt mittaussarja, jossa myös lammen länsiosassa mitattiin suotautumista järvestä pohjaveteen. Suotautumisessa havaittiin merkittävää alueellista vaihtelua.

Tutkittaessa suotautumisnopeuden suuruutta rantaviivan etäisyyden funktiona, havaittiin suotautumisnopeuden olevan suurimmillaan rannan välittömässä läheisyydessä. Siirryttäessä etäämmälle rantaviivasta nopeuden muutos noudatti eksponentiaalista alenemista. Suotautumismittausten ja maatulokintojen perusteella järven ja pohjaveden välinen vuorovaikutus tapahtuu pääasiassa lyhyellä vyöhykkeellä rannan läheisyydessä. Järven pohjasedimenteillä voi olla vaikutusta suotautumiseen.

Ahveroisen lampeen tulevan ja lammesta poistuvan pohjavesivirtauksen suuruutta arvioitiin laskennallisesti vesitasemallinnuksella 19.11.2008 – 17.9.2009 välisenä aikana. Mallinnuksen lähtötietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen ilmastoaineistoja ja jatkuva-toimista seuranta lammen vedenpinnan korkeudesta. Vesitasemallinnuksen tulosten perusteella tarkastelujakson sadanta (527 mm) oli samaa suuruusluokkaa kuin lammesta poissuotautuvan veden määrä (489 mm), ja vuotuinen haihdunta (233 mm) vastasi lampeen tulevan pohjaveden määrää (229 mm). Vesitasemallinnuksessa havaittiin muutoksia lammen ja pohjaveden välisen virtauksen suuruudessa eri vuodenaikoina. Suotautumisen ajallista vaihtelua tukivat myös vuonna 2010 tehdyt suotautumismittaukset, mutta vaihtelun suuruus oli vähäisempää mitä vesitasemallinnuksen tuloksista voitiin arvioida. Sadanta ja haihdunta ovat merkittävimmät lammen pinnankorkeuteen lyhyellä aikavälillä vaikuttavat tekijät. Pohjavesikomponentin merkitys lammen vesitasessa todettiin kuitenkin suureksi.

#### 4.2.2 Järvien ja pohjaveden vuorovaikutus

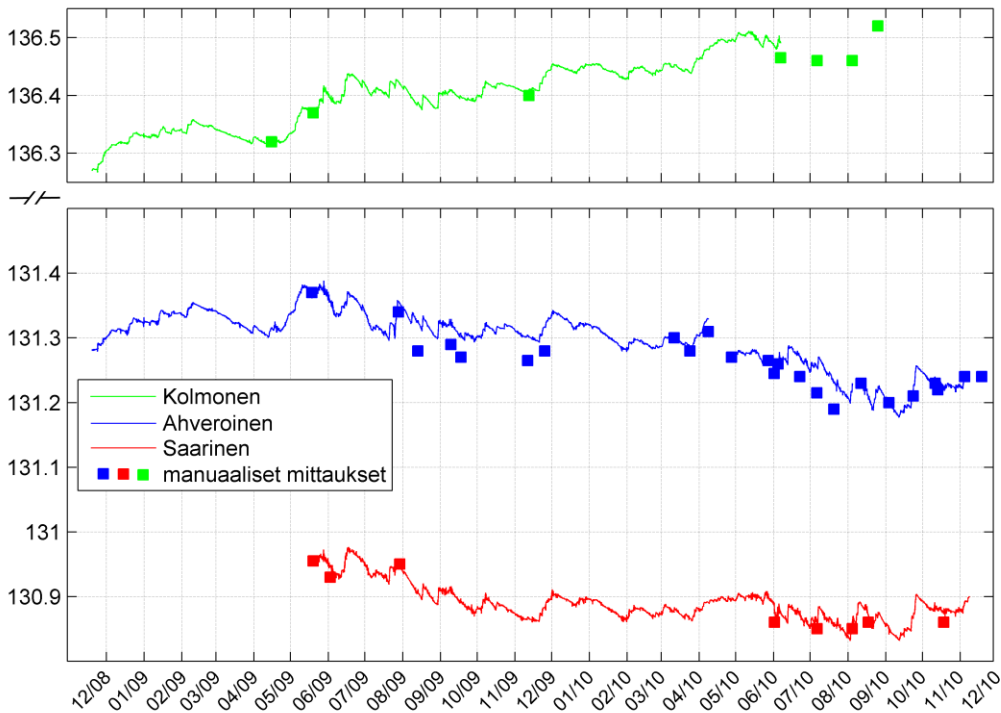
Tarkasteltaessa Rokuan alueen järvien ja pohjaveden vuorovaikutusta pohjaveden teoreettisten virtaussysteemien avulla, voidaan löytää selityksiä järvien pinnankorkeuksien ja vedenlaadun hyvin erityyppiselle käyttäytymiselle. Yleisesti hyväksytyn käsityksen mukaan pohjavesi liikkuu pitkin virtausreittejä, jotka muodostavat virtaussysteemejä (Toth 1963). Etenkin topografisesti vaihtelevilla alueilla maanalainen virtaus muodostuu useista päällekkäin olevista ja hierarkkisesti järjestäytyneistä virtaussysteemeistä (Kuva 30). Järvien hydrologiset ja kemialliset ominaisuudet määräytyvät pitkälti sen mukaan, miten järvet ovat sijoittuneet suhteessa paikallisiin ja alueellisiin virtaussysteemeihin (Winter et al., 1998).



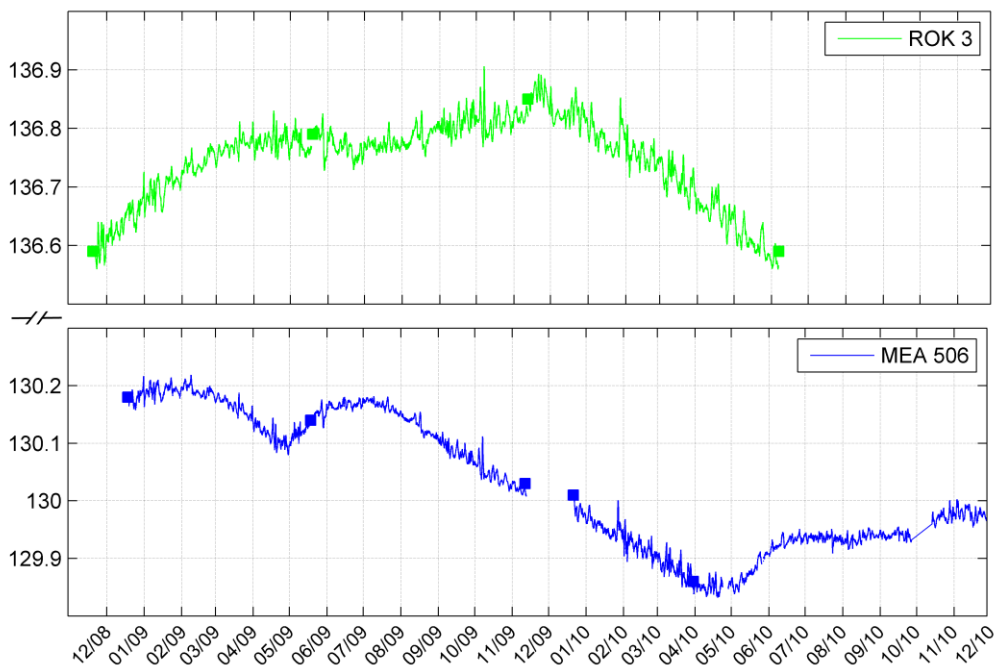
Kuva 30. Numeerinen 2D-mallinnus hypoteettisistä virtaussysteemeistä pohjaveden ja järvien välillä.

Rokuan alueen järvien hydrologia on erittäin yksilöllinen niin järviin virtaavan pohjaveden määrän kuin laadun osalta. Teoreettisesti tarkasteltuna harjun yläosissa sijaitsevat järvet

kuuluvat ns. paikalliseen pohjaveden virtaussysteemiin (kuva 30), joissa järviin purkautuva pohjavesi on muodostunut järvien lähialueilla. Järven ollessa riippuvainen paikallisista pohjavesivirtauksista, järveen purkautuvan pohjaveden määrään vaikuttaa merkittävimmin järveä välittömästi ympäröivät pohjavesipinnat. Jos järven läheisyydessä pohjaveden pinta laskee luonnollisesta vaihtelusta johtuen (kuiva jakso), se saattaa näkyä voimakkaana järven vedenpinnan laskuna.



Kuva 31. Keskimmäisen Kolmonen, Ahveroisen ja Saarisen pinnankorkeudet 2008-2010.

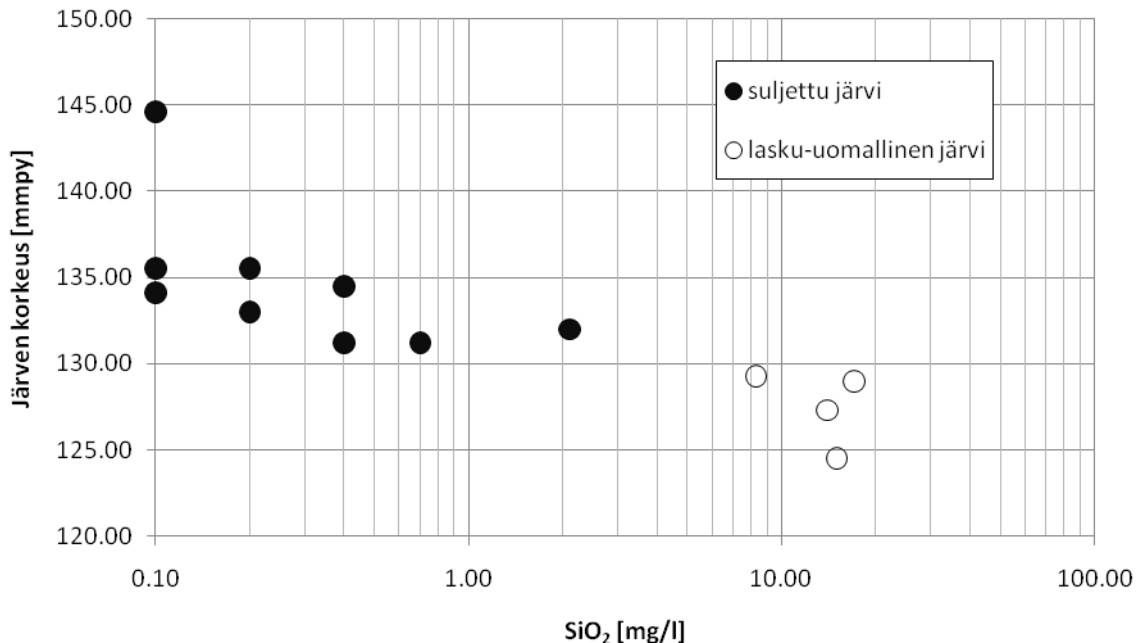


Kuva 32. Kolmonen läheisyydessä olevan ROK 3-pohjavesiputken ja Ahveroisen lähellä olevan MEA 506-putken pinnankorkeudet 2008-2010.

Järvien virtaussysteemien vaihtelevuus näkyy selkeimmin vertaamalla eri puolilla Rokuaa sijaitsevia järviä keskenään (kuva 31). Vuosien 2008 ja 2010 välillä esimerkiksi lähellä harjun reunaan sijaitsevan Ahveroisen pinta on laskenut kun taas samalla aikavälillä harjun ylimmällä alueella sijaitsevan Keskimmäisen kolmosen pinta on ollut nousussa. Pohjaveden pinta MEA506-pohjavesiputkessa Ahveroisen lähellä noudattelee järven pinnan tasoa (kuva 32). Kolmosen lähellä ROK3-putkessa puolestaan pohjaveden pinnan käyttäytyminen poikkeaa Kolmosen vedenpinnan käyttäytymisestä. Nämä keskinäiset vaihtelut osoittavat, kuinka veden pinnan tasot reagoivat eri nopeuksilla esimerkiksi ilmaston kausittaiseen vaihteluun eri puolilla harjua. Ja toisaalta kuinka erilaisia paikalliset virtaussysteemit eri järviin voivat olla.

Rokuan lasku-uomalliset järvet (kuten Levä-Soppinen tai Tulijärvi) puolestaan saavat vetensä todennäköisesti usein sekä paikallisista että alueellisista virtaussysteemeistä. Alueellisissa virtaussysteemeissä virtaus on tasaisempaa ja riippuu vähemmän kausittaisista pohjaveden pinnankorkeusvaihteluista. Täten järvet, jotka saavat vetensä osittain alueellisista virtaussysteemeistä, eivät ole niin herkkiä pohjaveden pinnan laskulle, koska pinnanvaihtelut harjun ylemmissä osissa vaikuttavat maltillisemmin alempana purkautuvan pohjaveden määrään.

Alueellisissa virtaussysteemeissä veden viipymä ja kontaktiaika maaperän kanssa on pidempi, millä voi olla huomattava merkitys veden kemialliseen laatuun. Veden kontaktiajalla maaperän kanssa voi olla vaikutusta pohjaveden ravinne- (typpi, fosfori) ja alkuainepitoisuuteen (esim. kalsium, rauta). Paikallisissa virtaussysteemeissä järviin purkautuvan pohjaveden voidaan olettaa sisältävän vähemmän alkuaineita ja ravinteita johtuen lyhyemmästä kontaktiajasta. Alueellisen virtaussysteemin purkautumispaikkoina olevat järven puolestaan voivat saada ravinne- ja alkuainepitoisuuksiltaan rikkaampaa pohjavettä. Kuvassa 33 on esitetty tuloksia eri järvien talviajan piidioksidipitoisuudesta.



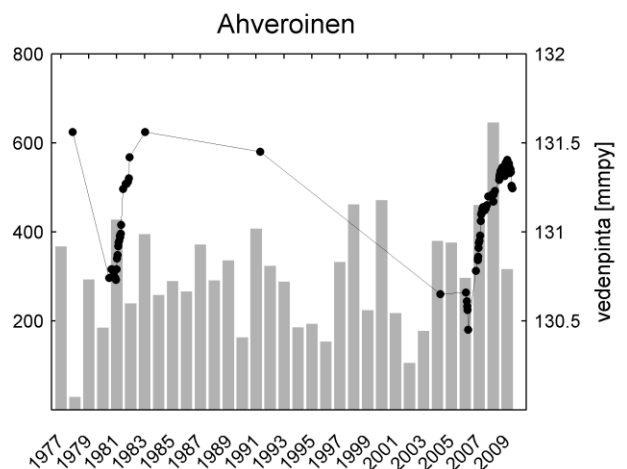
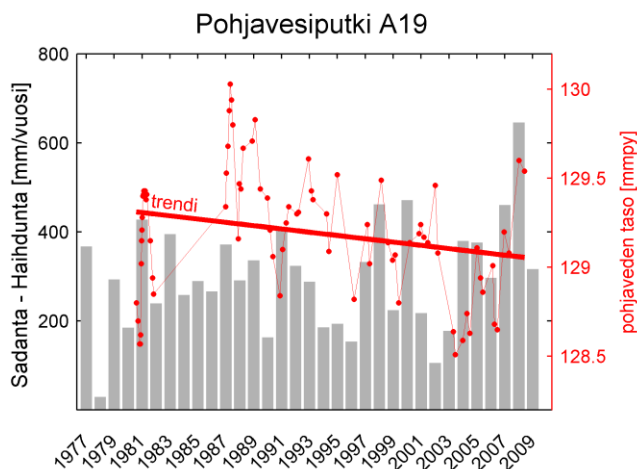
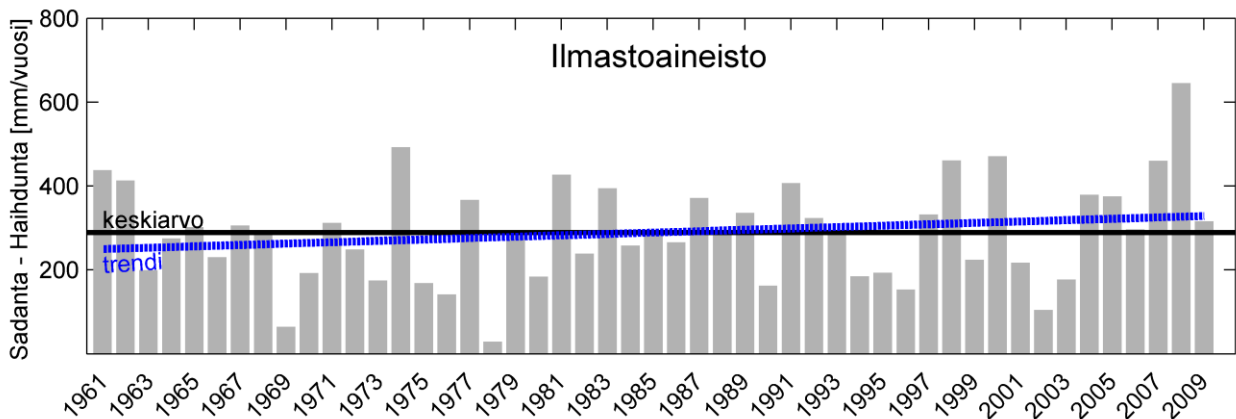
Kuva 33. Piidioksidia SiO<sub>2</sub> voidaan käyttää merkkiaineena veden alkuperän määrittämisessä. Alemmilla korkeuksilla sijaitsevat lasku-uomalliset järvet sisältävät enemmän pohjaveteen viittaavaa piidioksidia kuin korkeammalla sijaitsevat lasku-uomattomat järvet.

Teoreettisella pohjaveden ja järvien välisten virtaussysteemien tarkastelulla voidaan löytää uusia tutkimushypoteeseja järvien vaihtelevalle hydrologialle niin veden määrän kuin laadun osalta, mutta virtaussysteemien tutkiminen ja todentaminen kenttätutkimuksin on työlästä. Pohjaveden ikää voidaan arvioida veden kemiallisen koostumuksen (esim. Cl, Ca, SiO<sub>2</sub>) tai isotooppien (esim. <sup>18</sup>O and tritium) avulla, mistä kuvassa 33 on esitetty alustavia tuloksia. Tarkempia tutkimuksia virtaussysteemien tunnistamiseksi järvien läheisyydessä voidaan tehdä ottamalla vesinäytteitä sekä välittömästi järven läheisyydessä virtaavasta, että suoraan järveen purkautuvasta pohjavedestä. Tarkoitusta varten hankkeessa asennettiin pohjavesiputket Ahveroisen ja Levä-Soppisen läheisyyteen, ja kehitettiin laitetta järveen purkautuvan pohjaveden näytteenottoon. Näytteenotto ja tulosten analysoimiseksi tehdään jatkotutkimuksia.

### 4.3 Ilmasto-olosuhteet

Ilmatieteen laitokselta tilatun säädatan avulla koottiin Rokuan alueen ilmasto-olosuhteet vuodesta 1961 vuoteen 2009. Aineisto on koottu Pelson, Kajaanin ja Oulunsalon sääasemien mittauksista. Mittausten perusteella laskettiin vuotuinen arvio pohjaveden muodostumisesta, eli vuotuisen sadannan ja vuotuisen haihdunnan erotus (kuva 34). Aineiston perusteella alueen vuotuinen pohjaveden muodostusmäärä olisi 48 vuoden aikana lievästi kasvanut, keskimääräisen vuosittaisen muodostumisen ollessa hieman alle 300 mm. Suurin virhelähde muodostumisen suuruudessa on laskennassa käytetty haihdunnan laskentakaava, joka voi aiheuttaa määrällistä virhettä tuloksiin. Vuosittaisten arvojen keskinäisiin eroihin laskentakaava ei kuitenkaan aiheuta suurta eroa, joten pohjaveden muodostusmäärän nousua voidaan pitää luotettavana.

Verrattaessa ilmastoaineistoa alueen pitkäaikaisimpiin jatkuviin pinnankorkeusmittauksiin Turveruukin pohjavesiseurannassa ja näistä korkeimmalla harjualueella sijaitsevaan putkeen A19, havaitaan pohjaveden pinnan pitkäaikaisen tason olevan laskusuuntainen, vastoin pohjaveden muodostumisen trendiä (Kuva 34). Laskevan suuntainen, joskaan ei yhtä suuri, trendi on havaittavissa myös kahdessa muussa alempana harjualueella sijaitsevassa Turveruukin pohjaveden seurantaputkessa. Järvien pinnan tasoihin ilmasto-olosuhteiden vertaamista ei voida suoraan toteuttaa, koska järvien pinnankorkeusaineisto ei ole pitkäaikaista, vaan jatkuva seuranta on aloitettu vasta 2000-luvulla (kuva 34).



**Kuva 34. Ilmasto-olosuhteet Rokualla 1961-2009 ja ilmastoaineiston vertailu alueen veden pintoihin. Ylimmässä kuvaajassa on esitetty vuotuinen pohjaveden muodostuminen (sadanta-haihdunta) 1961-2009 sekä muodostumisen pitkäaikainen trendi ja keskiarvo. Alemmissä kuvaajissa muodostuminen on esitetty suhteessa pohjavesiputki A19:n sekä Ahveroisen lammen veden pintaan.**

Aineiston vertailun perusteella kuivat vuodet aiheuttavat selkeitä pohjaveden minimijaksoja. Pohjavesiputkessa A19 on vuosien 2001-2003 aikana pohjaveden pinta alhaisimmillaan ja pinta pysyy alemmalla tasolla myös seuraavina vuosina. Vuonna 1980 havaittua minimiä edeltää samalla tavoin kuivempia vuosia, erityisesti vuosi 1978.

Turveruukin aineistoon epävarmuutta tuo mittausten satunnaisuus: mittaukset on tehty vaihtelevaan aikaan vuodesta, jolloin mittaus on voinut osua esimerkiksi lumen sulannan aiheuttamaan maksimiin tai loppukesän minimiin. Tästä johtuen dataa tullaan jatkokäsittelyyn muotoon, josta selviää mihin hydrologisen vuoden ajanjaksoon mittaus osuu. Jatkokäsittelyllä aineiston avulla muodostetusta pitkäaikaistrendistä saadaan luotettavampi. Tämän hetkisen tiedon perusteella osalla alueen pohjaveden pinnoissa on laskeva suuntaus, vaikka pohjaveden muodostuminen on pitkällä aikavälillä kasvanut.

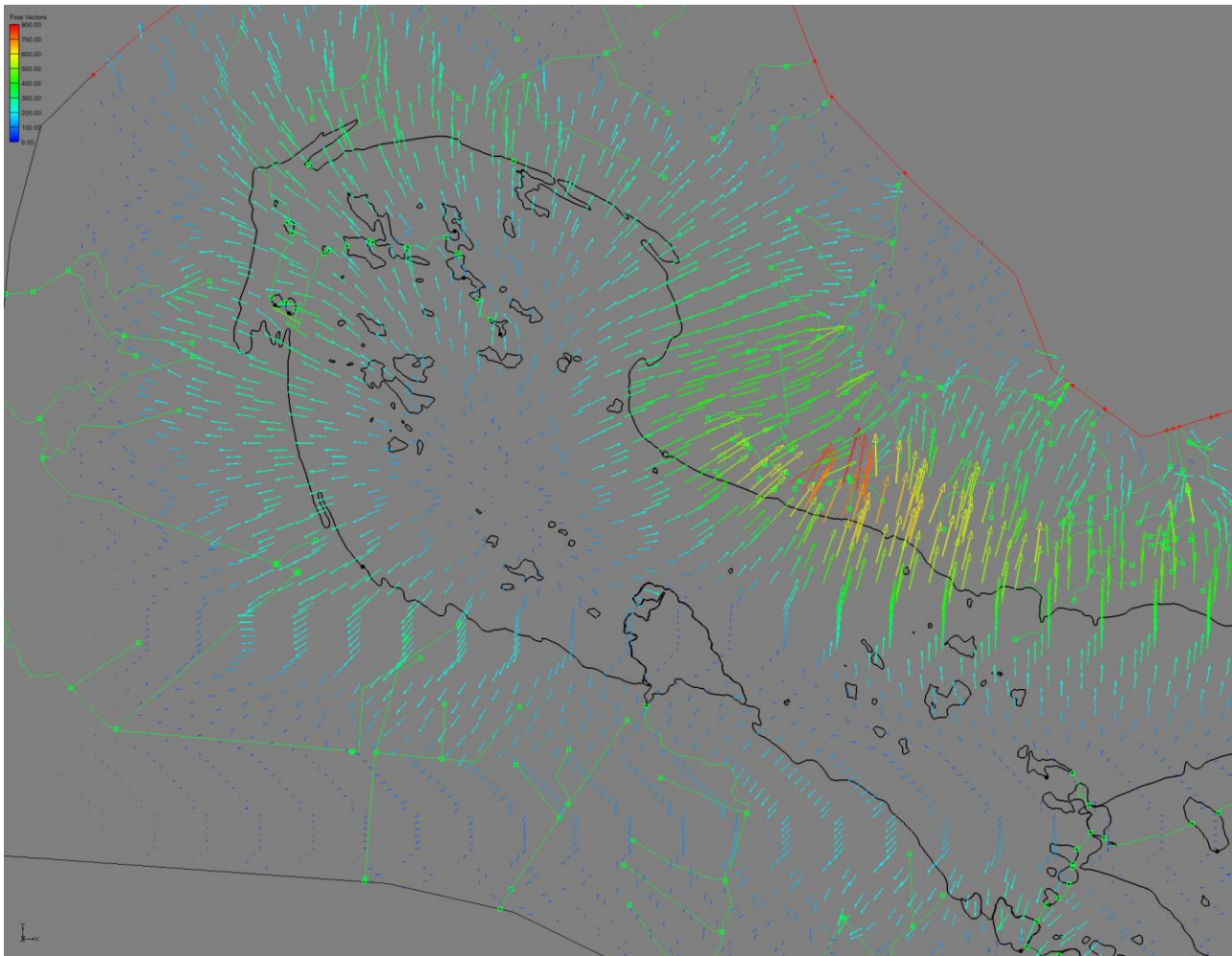
Luonnollisessa vaihtelussa järvien vedenpinnat palautuvat normaalille tasolle pohjaveden pintojen noustessa (kuva 34). Näin järvien vedenpinnan voimakaskin vaihtelu vuositasolla voi teoriassa olla luonnollinen ilmiö. Paikalliset pohjaveden virtaussysteemit ovat järville yksilöllisiä riippuen pääasiassa järviä ympäröivästä geologiasta, mikä selittää järvien vedenpintojen erilaista reagointia muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin. Täten kuivuuden tai päinvastaisesti märän kauden vaikutukset saattavat näkyä järvissä pitkällä viiveellä.



Rokualla joidenkin lähteiden esittämä havaittu pysyvämpi järvien tason lasku ei selity luontaisella vaihtelulla, vaan ilmiöön täytyy liittyä ympäröivän, koko alueen pohjaveden pinnan aleneminen. Pohjaveden pinnan lasku johtuu yleensä joko pohjaveden muodostumisen vähenemisestä johtuen muuttuvista ilmasto-olosuhteista, pohjaveden purkautumismekanismien muutoksista tai pohjaveden pumppauksen lisääntymisestä. Pitkäaikainen ilmastoaineiston perusteella ei Rokuan alueen pohjaveden muodostuminen ole vähentynyt, vaan ennemmin lievästi kasvanut. Toisaalta myöskään vedenotto alueella ei ole lisääntynyt. Järvien kunnostaminen lisäämällä vettä järviin ei tuota pysyviä tuloksia niin kauan, kun lisätyn veden määrä ei riitä nostamaan myös järviä ympäröiviä pohjavesipintoja, mikä voidaan havaita vuonna 2007 tehdyn Ahveroisen koekunnostuksen vaikutuksia tarkastellessa.

#### **4.4 Pohjaveden mallinnus ja virtaussuunnat**

Kerättyjen geologisten ja hydrologisten aineistojen pohjalta Rokuan alueesta muodostettiin pohjavesimalli MODFLOW-koodilla, jonka avulla selvitettiin alueen pohjaveden päävirtaussuuntia (Kuva 35) ilmastodatan perusteella keskimääräisen pohjaveden muodostumisen aikana, jolloin pohjavettä muodostuu 290 mm. Malli vahvistaa käsitystä, että Rokuan harjualue on antikliinen, eli ympäristöiville alueille pohjavettä purkava harjutyyppe. Virtaussuuntien ja alustavien arvioiden perusteella pohjavettä purkautuu eniten harjun pohjoispuolelle, Siirasojan ja Valkiaisojan alueille. Hankkeen virtaamamittausten perusteella alueen pohjavalunnan määrät ovat suuret, jotka viittaavat myös huomattavaan pohjaveden purkautumisen määrään. Mallin perusteella Rokualla on todennäköisesti kaksi toisistaan riippumatonta pohjaveden korkeimman pinnankorkeuden aluetta, itäosassa Saarijärven alueella ja länsiosassa kansallispuiston alueella.



**Kuva 35. MODFLOW-mallilla arvioidut pohjaveden päävirtaussuunnat ja virtauksen voimakkuus Rokuaalla.**

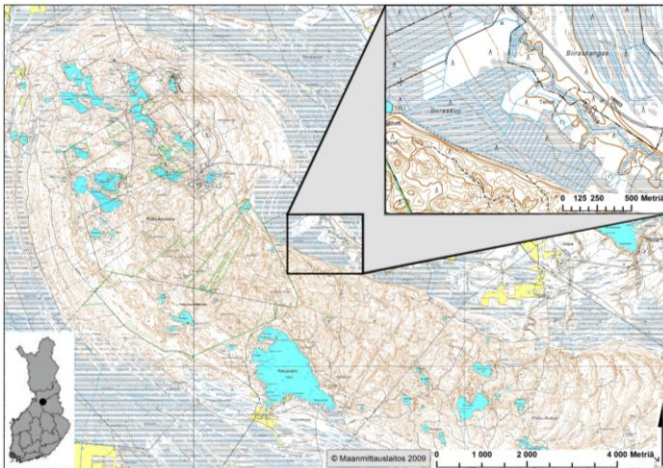
Alueen mallinnusta tulee jatkaa pohjavesitilanteen tarkentamiseksi. Nykyinen malli ei ota huomioon marraskuun 2010 kairauksissa havaittua soraydintä. Soraydin voi mahdollisesti jatkaa Rokualta Ahmaskankaalle ja näin johtaa pohjavesiä muodostumasta toiseen. Hankkeen tulosten perusteella pohjavesialueita yhdistävä muodostuma ei todennäköisesti ole kovin leveä, mutta asian varmistaminen vaatii lisätietoa alueen geologiasta. Lisäksi mallilla tulee selkeyttää suo-ojitusten kokonaisvaikutusta Rokuaan. Kerätyn aineiston perusteella suoalueita Rokuan ympärillä ei pohjaveden tarkastelussa voi jättää huomioimatta. Ojitukset ovat vaikuttaneet pohjavesiesiintymän virtausolosuhteisiin, mutta vaikutusten voimakkuus vaatii lisäselvitystä.

## 5 Ojitusalueen koekunnostus

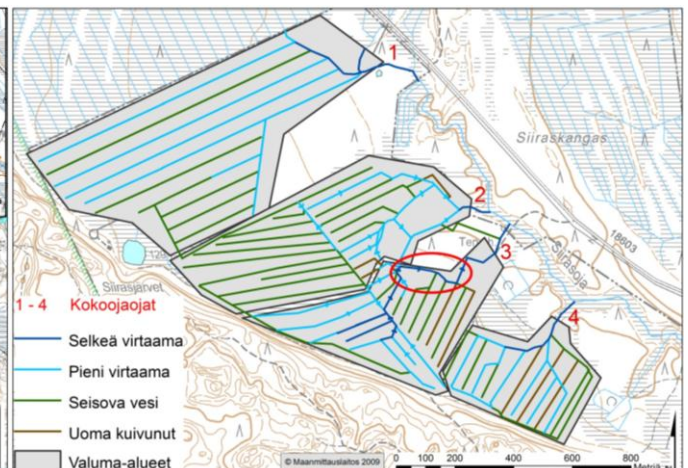
Turvemaiden ojitusta on pidetty mahdollisena syynä Rokuan pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan ja hankkeen muiden tulosten perusteella suo-ojituksen vaikutusten voimakkuutta pohjavesiin Rokualla tulee selkeyttää. Kunnostuksen tavoitteena oli tarkentaa millä mekanismeilla pohjavettä purkaa metsäoijiin Rokuan harjualueella ja määrittää, voidaanko ojiin purkautuvaa pohjaveden määrää vähentää. Kunnostuksen yhteydessä seurattiin ojitusalueen hydrologiaa, pohjavedenpintoja harjulta tutkitulle ojitusalueelle sekä alueen sadantaa. Hydrologisia havaintoja tuettiin vedenlaatuanalyysillä.

### 5.1 Kunnostuskohde

Tutkimus- ja koekunnostuskohteeksi valittu metsäoja sijaitsee Rokuan harjualueen pohjoispuolella (kuva 36). Harjua ympäröivät suot ovat enimmäkseen ojitettuja, ja pohjaveden purkua metsäoijiin on havaittu alueella, missä harjun reuna on topografialtaan jyrkkä ja alueen turvekerros on paksu. Tutkimusalue kuvaa harjua ympäröivän alueen maankäyttöä ja luontotyyppejä monipuolisesti.



Kuva 36. Kunnostuskohteen sijainti. Kartan muokannut V. Kupiainen.



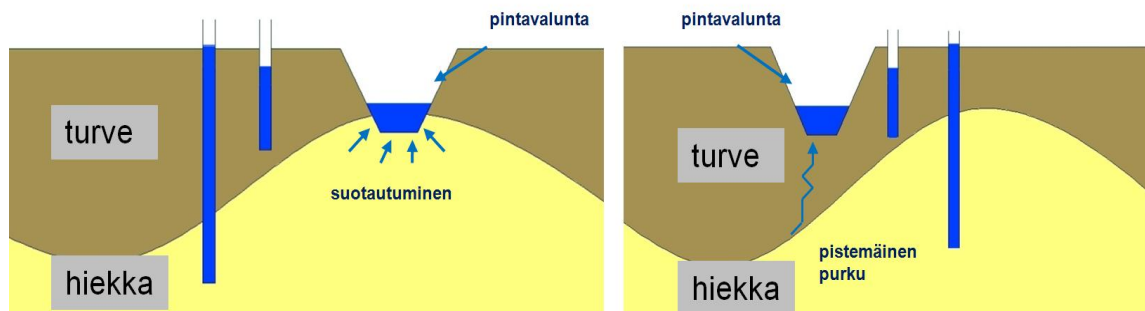
Kuva 37. Virtausolosuhteet kunnostusalueella. Kartan muokannut V. Kupiainen.

Tutkimusaluetta kartoitettiin kesällä 2009 selkeiden pohjaveden purkuaukkojen ja -paikkojen, pohjavesitihkujen, ojien virtausreittien ja alueen muiden erityispiirteiden selvittämiseksi. Alueen vesistä merkittävä osa laskee Siirasojaan tutkimusojan kautta. Virtausverkostossa (kuva 37) tumman sinisellä esitetyt oja ovat veden päävirtausreitit. Kartoituksien perusteella pääteltiin, että kyseisten ojien vesi on enimmäkseen pohjavettä. Virtausverkosto koostuu neljästä valuma-alueesta, joiden Siirasojaan purkavat kokoojaojat on numeroitu (1-4).



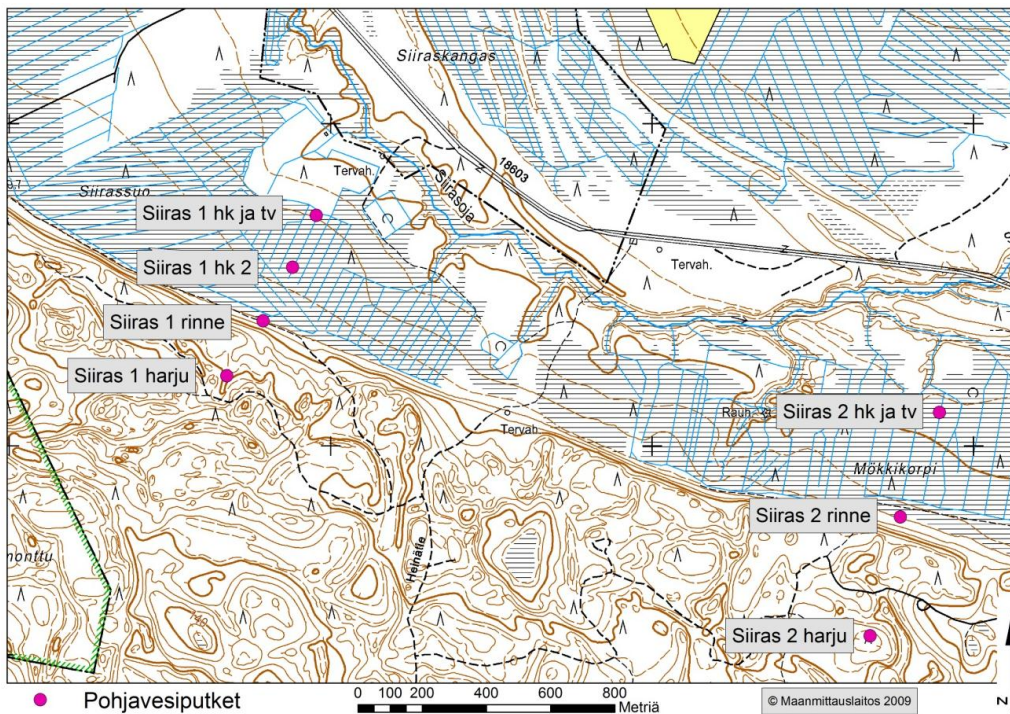
**Kuva 38. Pohjaveden purkuaukko tutkimusalueella. Kuva P. Rossi.**

Tutkimuksessa varmistettiin, että pohjavettä purkautuu hiekkakerrokseen saakka kaivetuissa ojissa kahdella mekanismilla. Jos turvekerros on puhkaistu vesi suotautuu hiekan läpi (kuva 39). Paksun turvekerroksen alueille tehdyissä ojissa pohjavesi puolestaan purkautuu eristävän turpeen läpi kovertuneiden aukkojen kautta (kuvat 40 ja 41). Havaintojen perusteella pohjavettä purkautui kovertuneiden aukkojen kautta merkittävä määrä pintavaluntaan nähden. Suurimpien purkuaukkojen kohdalla hiekkakerroksen paineellinen pohjavesi oli selvästi vapaata ojavedenpintaa korkeammassa painekorkeudessa. Näitä purkumekanismia ei aiemmin ole selkeästi tunnettu.



**Kuva 39. Pohjaveden purkumekanismejä.**

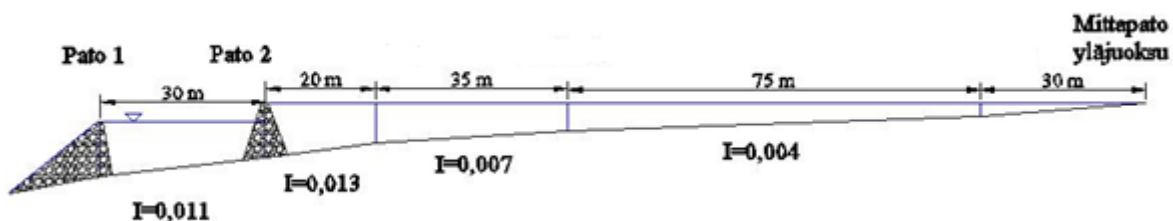
Kunnostusalueen hydrogeologiaa tutkiessa seurattiin pohjaveden pinnankorkeuksia sekä kunnostusalueelta että vertailualueelta (kuva 40). Seurannalla selvitettiin alueen akviferityyppejä sekä hiekkakerroksen pohjaveden vuorovaikutusta. Sekä turve että hiekkakerroksen vedenjohtavuutta arvioitiin mittauksin ja laskennallisesti. Purkautuvia pohjavesimääriä arvioitiin erottamalla pohjavalunta ojavirtaamista. Hydrologisia havaintoja tuettiin vedenlaatuanalyysin sekä mallinnuksella.



Kuva 40. Pohjaveden korkeuden seurantalijat. Kunnostusalue Siirasoja 1 vasemmalla ja vertailualue Siirasoja 2 oikealla. Kartan muokannut V. Kupiainen.

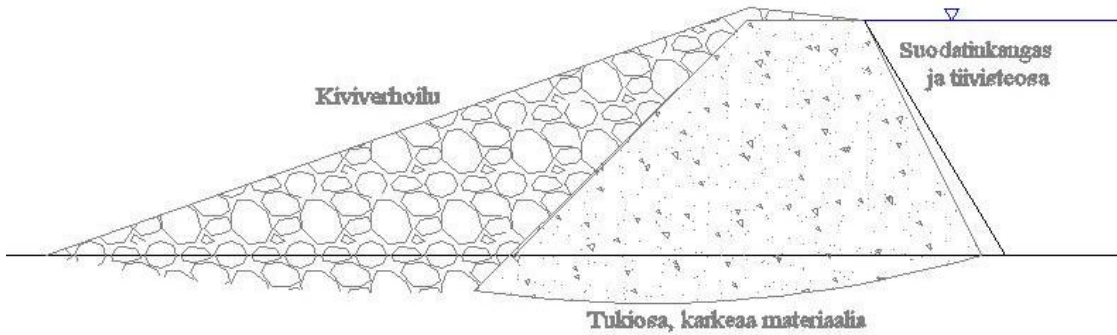
## 5.2 Kunnostusmenetelmät

Koekunnostuskohteen syvä oja padotettiin, jolloin ojaveden ja pohjaveden hydraulisten painekorkeuksien ero tasoittui. Riittävän padotuksen aikaansaamiseksi ojaan rakennettiin kaksi pohjapatoa siten, että suurimmat pohjaveden purkaukset jäivät padotuksen vaikutuspiiriin (kuva 41).



Kuva 41. Patojen sijainti ja niiden aiheuttama padotus.

Patojen ydinosana käytettiin murskettä ja tiivisteosana kuormauspeitettä, joten padottaminen oli kustannuksiltaan edullinen ja toteutukseltaan yksinkertainen (kuvat 42 ja 43). Kunnostusalueen ala- ja yläpuolelle sijoitetuilta mittapadoilta saatiin virtaama-aineistoa ennen ja jälkeen kunnostuksen.



Kuva 42. Alajuoksun pohjapadon sivuprofiili



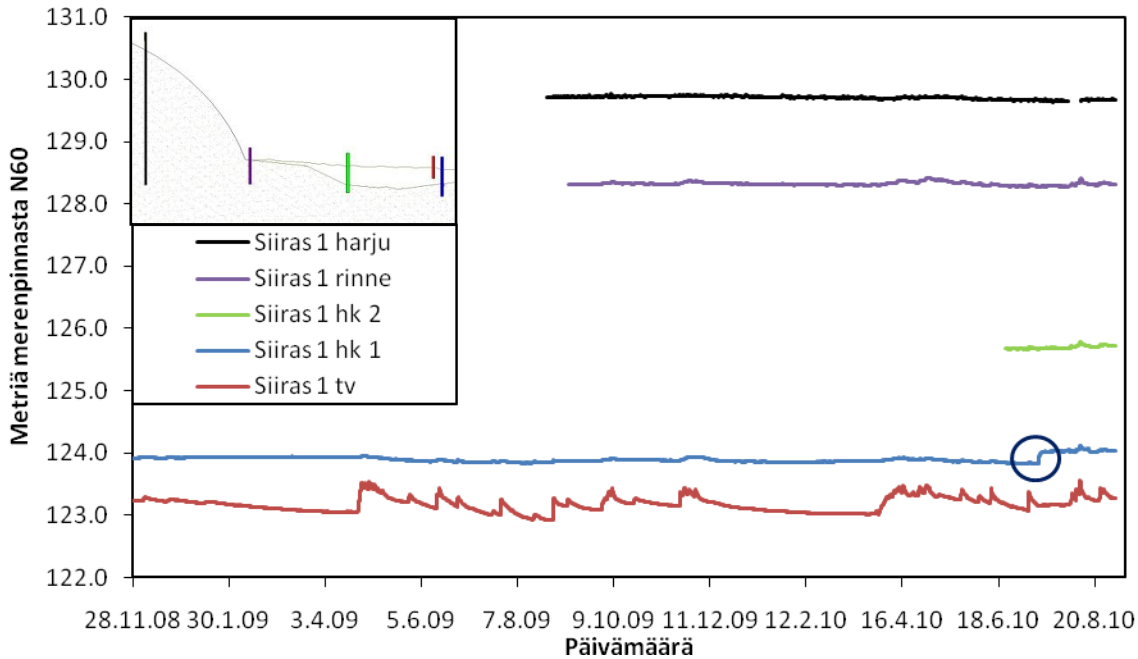
Kuva 43. Ylempi pohjapato (vas.) ja molemmat padot kuvattuna yläjuoksun puolelta (oik.). Kuvat V. Kupiainen

Padotus tuli edulliseksi valituilla materiaaleilla. Materiaalit maksoivat patoa kohden noin 293 euroa. Edullisuuden lisäksi valittu padotustapa oli asennukseltaan yksinkertainen ja nopea. Jos kunnostuksia toteuttaisi pienemmällä padotuskorkeudella ja paikoissa, jossa virtaamat eivät olisi tutkimusalueen suuruisia, padotusmateriaaleina voitaisiin käyttää esimerkiksi olkipaaleja, padotusalueelta löytyviä maamassoja tai puupalkkeja.

### 5.3 Kunnostuksen tulokset

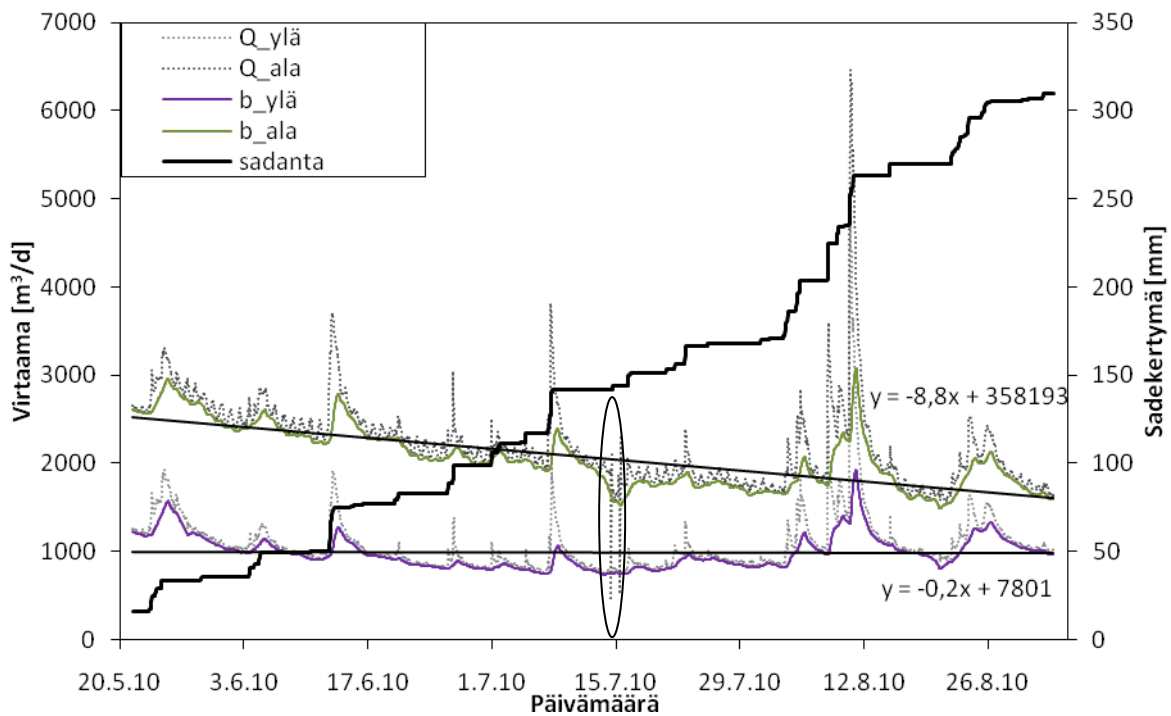
Pohjaveden mallinnuksella tarkastettiin hiekkakerroksen pohjavedenpinnan tasot, jotka vastasivat havaittuja pohjavesiputkien arvoja. Rinteen vieressä, jossa turvekerros on ohut, mallinnus osoitti purkualueita. Purkualueita havaittiin myös maastotarkasteluissa. Mallinnus osoitti, että harjulla ja rinteessä akviferi on vapaapintainen ja paksun turvekerroksen kohdalla taas paineellinen.

Hiekkakerrokseen asennettujen pohjavesiputkien tasot ovat pysyneet tasaisina ennen kunnostusta (kuva 44). Turvekerroksen pohjavedessä (tv) on nähtävissä selvästi talvien tasaisen pohjavedenpinnan jaksot, kevään lumensulanta sekä kesien ja syksyjen pohjavedenpintaa nostattavat sadejaksot. Pohjavedenpinta nousi padotusalueen vieressä hiekkakerroksessa kunnostuksen jälkeen 20 cm. Padotuksen vaikutus pohjavesipintoihin havaittiin 180 m harjulle päin sijaitsevassa pv-putkessa ”Siiras 1 hk 2”. Kunnostuksella ei havaittu olevan vaikutusta turvekerroksen vettymiseen eikä vertailualueeseen.

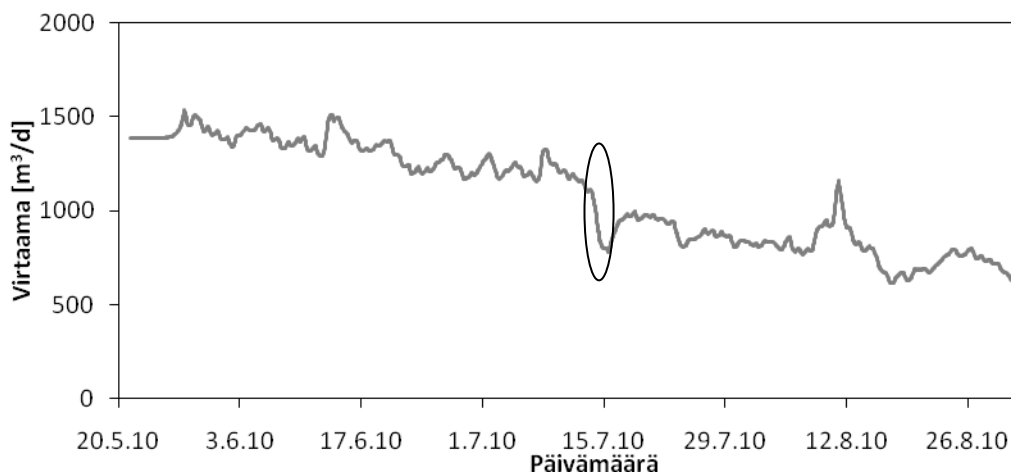


**Kuva 44. Siirasoja 1 -seurantalinjan pohjavesiputkien vedenpinta sekä sijainti harjuun nähden havainnekuvassa. Putkista harju, rinne, hk1 ja hk2 seuraavat hiekkakerroksen pohjaveden pintaa ja tv turvekerroksen pintaa. Kunnostettava oja sijaitsee putkien hk1 ja tv1 vieressä. Ympyröitynä patojen asennuspäivät.**

Mittapatojen virtaamien ero on selkeästi pienempi padotuksen jälkeen. Jos pohjavaluntojen keskiarvoja tarkastellaan molemmilla padoilla ennen ja jälkeen kunnostuksen, havaitaan, että yläpuolen mittapadon pohjavalunta on samansuuruinen ennen ja jälkeen kunnostuksen kun taas alapuolen pohjavalunta pienenee  $500 \text{ m}^3/\text{d}$  (kuva 45). Pohjavaluntojen välinen erotus (kuva 46) osoittaa alapuolen mittapadon virtaaman pienentymisen kunnostuksen jälkeen. Koko jakson aikana pohjavalunnan (eli purkautuvan pohjaveden) osuus virtaamasta molemmilla padoilla oli yli 90 %.



**Kuva 45. Virtaaman väheneminen padotuksen seurauksena. Padotusalueen yläpuolisen ja alapuolisen mittapadon virtaamien ero ennen kunnostusta on tasainen. Kunnostuksen jälkeen padotusalueen alapuolen mittapadolla virtaa aiempaa vähemmän pohjavettä. Tämä näkyy myös pohjavalunnan trendeissä. Kuvassa ympyröitynä patojen asennus.**



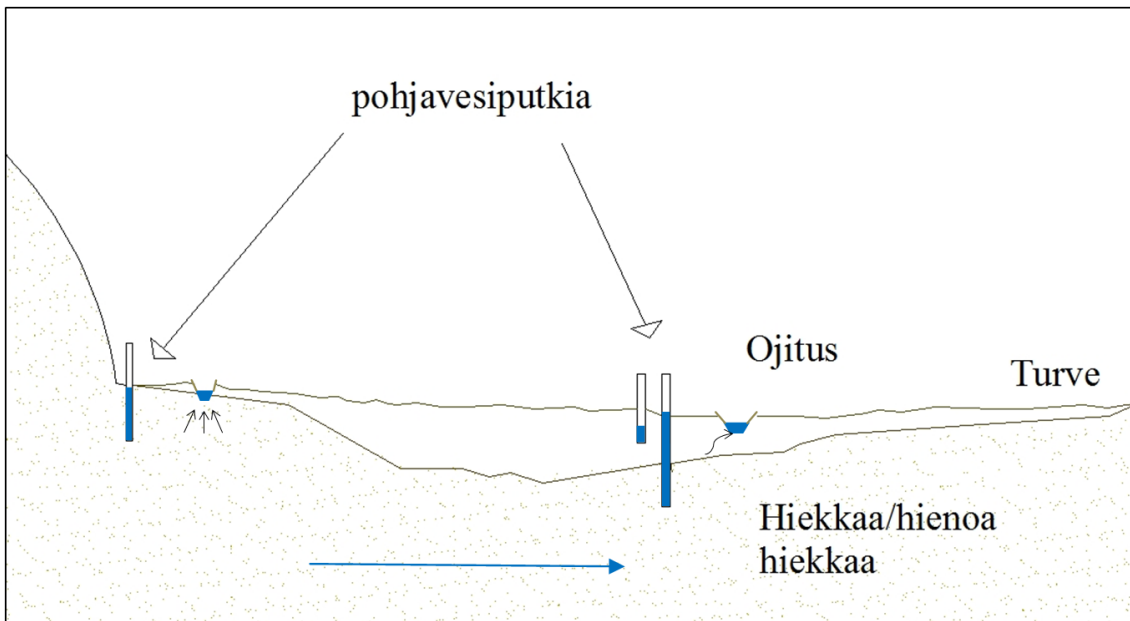
**Kuva 46. Kunnostusalueen ylä- ja alapuolisen pohjavalunnan välinen erotus. Ympyröitynä padotusten asennuksen ajankohta.**

Vedenlaatuanalyysien perusteella ojaverkoston latva-alueilla pohjaveden osuus olisi hieman lisääntynyt. Kunnostusalueella ja sen alapuolella pohjaveden osuus ojavedestä olisi vähentynyt. Ojavedestä on kunnostuksen jälkeenkin suuri osa pohjavettä, joten päätelmiä ei voi tehdä yksin vedenlaadun perusteella. Pohjaveden virtausreitit muuttuivat kunnostuksen jälkeen ojitusverkoston latva-alueilla, missä havaittiin mm. kulkeutunutta hiekkaa ja pohjavesivaikutteisen kasvillisuuden voimistumista.



## 5.4 Kunnostuksen johtopäätökset

Tulokset varmistivat pohjaveden purkautumisen toimintamekanismit tutkimusalueella (kuva 39). Lähempänä rinnettä, jossa turvekerros on ohut, vettä suotautuu hiekan läpi ojiin. Kunnostuskohteen ojassa vesi purkautuu ojiin paksun turvekerroksen läpi putkimaisia kanavia pitkin. Turpeeseen kovertuneet purkuaukot sijaitsevat harjun puoleisissa ojaseinämissä. Kuvassa 47 on esitetty tutkimusalueen profiili padotetun ojan kohdalta, jossa näkyy purkumekanismit ja hiekkakerroksen sekä turvekerroksen havaitut pohjaveden pinnankorkeudet havaintoputkissa.



Kuva 47. Pohjaveden purku ojiin hiekan läpi suotautumalla ja purkuaukkojen kautta. Pohjaveden päävirtaussuunta on harjulta Siirasojaa kohti.

Kunnostusmenetelmänä padottaminen soveltuu ojitusalueille, joissa on riittävää kaltevuutta ja ojasyvyyttä, mikäli metsän kuivatusta ei haluta häiritä. Mittapadoilta saadun virtaama-aineiston ja pohjavalunta-analyysin perusteella padotus ei vaikuttanut alueen valuntaan ja turvekerroksen hydrologiaan. Pitkiä ja matalia hiekkaan kaivettuja ojia ei ole järkevää kunnostaa padotuksella, vaan tällaiset ojitusalueet voi joutua täysin ennallistamaan. Vaikka pohjavesialueiden sisäpuolelle tehtyjä ojia ei uudelleen avata kunnostusojittamalla, eivät alueiden luontotyytit välttämättä palaudu, sillä pohjavesi voi pitää yllä tasaista virtaamaa ojissa. Hankkeen koekunnostuksen perusteella harjun reuna-alueiden metsäojitus voi vaikuttaa pohjaveden purkautumiseen ja ojitusta pohjavesialueilla tulee välttää, jotta pohjavesiä ei vaaranneta määrällisesti.

## 6 Suppalampien ja -järvien kunnostusmahdollisuudet

Rokuan pohjavesialueen lasku-uomattomat suppalammet ovat riippuvaisia ympäröivän pohjaveden pinnasta. Lampien pinta noudattelee ilmasto-olosuhteita, vaihdellen sateisten vuosien jälkeisistä maksimeista kuivien vuosien jälkeisiin minimeihin (ks. kappale 4.3). Tämä veden pinnan luonnollinen vaihtelu tulee jatkumaan kuten aiemmin, mutta havaintojen perusteella keskimääräinen pohjavedenpintojen taso ainakin osalla Rokuan alueesta olisi laskeva. Tämä saattaa aiheuttaa kuivien kausien aikaisten minimipintojen ylimääräistä laskua ja siitä aiheutuvien ongelmien lisääntymistä esimerkiksi virkistyskäytölle. Tätä ajatusta vasten kunnostusvaihtoehtoja voidaan tarkastella kahdella tasolla.

Järvien hydrologian tutkimuksessa (kappale 4.2) selvitettiin lasku-uomattomien lampien olevan osa koko alueen pohjavesisysteemiä. Tästä johtuen esimerkiksi veden ajoittainen lisääminen järveen ei ole pysyvä ratkaisu, koska ympäröivät pohjavedenpinnat eivät nouse ja lisätty vesi suotautuu vähitellen lammesta ympäröivään maastoon. Veden lisäyksen tulisi siis olla jatkuvaa. Lisäksi tulee huomioida, että lisättävän veden laatu saattaa poiketa järven veden laadusta. Jos lisättävässä vedessä on enemmän ravinteita kuin järven vedessä, voi järvi alkaa rehevöityä. Yksittäisen lammen pinnantasoon voidaan todennäköisesti vaikuttaa myös järviveden poissuotautumismekanismia muuttamalla. Tämä voi olla mahdollista esimerkiksi järven pohjan sedimentin vedenjohtavuutta pienentämällä, kuten esimerkiksi levittämällä bentoniittimatto ranta-alueille, joissa järvivesi suotautuu pohjaveteen. Vedenjohtavuuden pienentyessä vähemmän järvivettä poistuu pohjaveteen. Toinen samantyyppinen menetelmä olisi keinotekoinen pohjaveden pinnan nosto alueilla, joissa järvivesi suotautuu maaperään. Pohjaveden pinnan nosto tuottaisi keinotekoisena ”pohjavesipadon” poissuotautumisalueelle, jolloin järvivettä ei pääsisi suotautumaan pohjaveteen (pohjaveden pinta  $\geq$  järven pinta). Edellä mainittujen kunnostusmenetelmien kehittäminen ja toteuttaminen vaatisi lisätutkimusta. Toisaalta kysymyksiä aiheuttaisivat myös menetelmien ja vaikutukset pinta- ja pohjaveteen Natura-alueella (esim. tekopohjaveden muodostaminen).

Kunnostusmahdollisuuksia voidaan tarkastella toisaalta koko harjun mittakaavassa. Koska lasku-uomattomat lammet ja järvet ovat osa harjun pohjavesisysteemiä, koko pohjavesialueen muutokset heijastuvat niihin. Geologisen tarkastelun (kappale 3), ojavirtaamamittausten (kappale 4.1) ja mallinnuksen (kappale 4.4) perusteella Rokuaa ympäröivät suoalueet ovat osa pohjavesiesiintymän hydrologiaa. Pohjavettä purkautuu luonnostaan ympäröiviin puroihin, mutta oja-alueen koekunnostuksen perusteella (kappale 5) ojitus aiheuttaa joillain alueilla pohjaveden purkautumismekanismien muutoksia. Tämän perusteella Metsähallituksen ohjetta pohjavesialueiden ojituksesta tulisi noudattaa Rokuan ympäristössä, koska harjualueelta purkautuvat vesimäärät saattavat olla suuria. Ojitus voi tavoitellun suoalueen kuivatuksen lisäksi vaikuttaa hiekkakerroksen pohjaveteen, jolloin pohjavettä purkautuu turvekerroksen lisäksi myös hiekasta. Sama vaikutus voi olla myös muulla maankäytöllä, kuten turpeen nostolla. Lisäojitusten ja kunnostusojitusten välttämiseksi ei uusia pohjaveden purkautumisreittejä pääse muodostumaan. Tämän lisäksi kriittisimpiä pohjaveden purkupaikkoja voi kunnostaa ojien ja pohjaveden gradienttiero pienentämällä esimerkiksi pohja- tai rumpupadolla. Suurin kysymys tässä kunnostusvaihtoehdossa on, kuinka paljon ojitusalueen muutoksilla voidaan vaikuttaa harjun pohjaveden pintaan. Tämä kysymys vaatii lisätutkimusta kuten koko harjualueen

pohjavesimallinnuksen jatkamista. Mallinnuksen ja maastokartoitusten perusteella voidaan määrittää kriittisimmät alueet, joilla kunnostustoimenpiteitä saatetaan tarvita. Hankkeen ojavirtaamamittausten perusteella voidaan kuitenkin todeta Siirasojan, Valkiaisojan, Kääriänojan, Nuojuanojan, Heinäjoen ja Neittävänjoen olevan oja, joissa purkautuvan pohjaveden määrä on huomattava, ja ovat todennäköisesti kriittisiä alueita pohjaveden purkautumiselle.

## 7 Yhteenveto

Aiempien tutkimusten ja hankkeen aikana tehtyjen geologisten tutkimusten perusteella Rokuan harju on valtaosin hiekkaa tai hienoa hiekkaa. Alueella on joitain silttikerroksia, jotka voivat muodostaa salpavesiä (esimerkiksi Pookivaaralla). Nämä silttikerrokset eivät kuitenkaan näytä muodostavan kovin paksuja tai laajoja yhtenäisiä kerroksia. Alueen järvet ja lammet eivät ole salpamuodostumia, vaan ovat osa harjun pohjavesiesiintymää ja riippuvaisia pohjaveden pinnan korkeudesta. Alueelta ei hankkeessa paikallistettu jatkuvaa soraydintä. Kuitenkin, Saarisen ja Salmisen välisellä kannaksella tehdyssä kairauksessa soraa löytyi kallioperän päällä olevan moreenikerroksen yläpuolelta lähes 40 metriä. Kallioperä paikannettiin geofysikaalisilla luotauksilla ja kairauksilla harjulla sekä harjun ympäristössä 97 eri kohdassa. Harjualueetta ympäröivillä soilla on paikoittain paksut turvekerrokset. Turvekerroksen alla on yleisesti hiekkakerros, joka on osa harjun pohjavesiesiintymää.

Hydrologisten mittausten perusteella harjulla muodostuva pohjavesi purkautuu pääosin harjua ympäröiviin ojiin ja puroihin. Suurimmat purkumäärät suhteessa valuma-alueeseen havaittiin Rokuan koillispuolella, erityisesti Siirasojan alueella. Alustava pohjaveden virtausmalli tuki virtaamamittauksia.

Harjun lasku-uomattomamien lampien hydrologia on riippuvainen pohjavedestä ja sen virtaussuunnista. Koekohteena toimineen Ahveroisen lammen eteläpäässä mitattiin pohjaveden purkautumista lampeen. Lammen pohjoispäässä puolestaan mitattiin lammen veden suotautumista pohjaveteen. Samantyyppistä purkautumista ja suotautumista havaittiin myös muissa suljetuissa lasku-uomattomissa lammissa. Lasku-uomallisten lampien, kuten Levä-Soppinen tai Rokuanjärvi, hydrologia on toisenlainen. Lasku-uoman kautta lammista poistuu jatkuvasti vettä, joka korvautuu pohjavedellä. Lasku-uoma pitää sekä lammen pinnan että järveä ympäröivän pohjaveden pinnan lasku-uomallisten järvien ympäristössä lähes vakiona.

Rokuan pohjaveden pinta sekä siitä riippuvaisten suppajärvien ja -lampien pinnat ovat yhteyksissä ilmaston vuosittaiseen vaihteluun. Kuivien vuosien jälkeen, kuten 1978 ja 2000-luvun alussa, pinnat ovat alhaalla ja sateisten vuosien jälkeen korkealla. Pinnankorkeuksien reagoimisnopeus ilmasto-olosuhteisiin vaihtelee eri puolilla harjua. Osalla harjualueesta pohjavedessä on kuitenkin havaittavissa pinnankorkeuden pitkäaikaista laskua, joka ei noudata alueen ilmasto-olosuhteita.

Hankkeen osana toteutettiin ojitetun turvealueen metsäojan koekunnostus. Kunnostuksen tavoitteena oli selvittää pohjaveden purkumekanismeja harjua ympäröivillä turvealueilla ja mahdollisia keinoja purkautumisen vähentämiseen. Tuloksien perusteella harjulta tuleva pohjavesi purkautuu metsäojiin kahdella tavalla. Kun metsäojitus on kaivettu

mineraalimaahan asti, pohjavettä voi suotautua suoraan hiekasta ojaan. Paksujen turvemaiden alueella puolestaan turve voi toimia eristävänä, vettä läpäisemättömänä kerroksena. Tämä voi aiheuttaa turvemaan alapuolella sijaitsevan hiekkakerroksen pohjaveden paineellistumista. Kun paksuun turvemaahan tehdään ojitus, voi paineellinen pohjavesi löytää virtauskanavan turpeen lävitse ja purkautua metsäojaan.

Hankkeen koekunnostuksen kohteena oli 200 metrin pituinen oja, josta paineellista pohjavettä purkautui pistemäisistä virtauskanavista ojaan. Kunnostus toteutettiin ojiin asennetuilla pohjapadoilla, jotka nostivat veden pintaa ja vähensivät paine-eroa ojan ja paineellisen pohjaveden välillä. Menetelmällä pohjaveden pinta hiekkakerroksessa nousi ojan kohdalla 20 cm ja pohjaveden purkautuminen väheni noin 500 m<sup>3</sup>/d. Menetelmä soveltuu pohjaveden paikallisen purkautumisen vähentämiseen. Koekohteella kunnostus ei vaikuttanut turvemaan pohjaveden pintaan, mutta toisenlaisella kohteella se voi nostaa pohjaveden tasoa myös turvemaassa ja näin ollen vaikuttaa metsänkasvuun. Hiekkaan kaivettuja ojia taas ei ole välttämättä järkevää kunnostaa padotuksella, vaan tällaiset ojitusalueet voi joutua täysin ennallistamaan pohjaveden purkautumisen vähentämiseksi.

Lasku-uomattomien järvien ja lampien pinnankorkeuteen voi mahdollisesti vaikuttaa kahdella tasolla. Yksittäisen järven ja pohjaveden vuorovaikutusta voi muuttaa esimerkiksi pienentämällä järven pohjan vedenjohtavuutta tai keinotekoisien pohjaveden muodostamisella järven ympäristöön. Näiden menetelmien vaikutus Natura-alueen pinta- ja pohjaveteen vaatisi kuitenkin lisätutkimusta. Toisaalta kunnostusta voidaan tarkastella koko harjun mittakaavassa. Turvemaan ojitus on joillain alueilla vaikuttanut tavoitellun turvealueen kuivatukseen lisäksi harjuun yhteyksissä olevan hiekkakerroksen pohjaveden pintaan. Koekunnostuksen perusteella kriittisillä alueilla turvealueen pohjaveden purkautumiseen voidaan vähentää pienentämällä ojien ja pohjaveden gradienttiero pohjajärvien tai rumpupadolla. Suurin kysymys tässä kunnostusvaihtoehdossa on, kuinka paljon ojitusalueen muutoksilla voidaan vaikuttaa harjun pohjaveden pintaan. Tämä kysymys vaatii lisätutkimusta kuten koko harjualueen pohjavesimallinnuksen jatkamista.

## Lähdeluettelo

- Aartolahti Toive, 1973. Morphology, vegetation and development of Rokuanvaara, an esker and dune complex in Finland.
- Ansala H. 2007. Eräiden Rokuan harju- ja dyynikompleksien suppajärvien ja –lampien vedenpinnan alenemisselvitys. Pro gradu –tutkielma. Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto. 71s.
- Anttila E-L. & Heikkinen M-L. 2007. Rokuan pinta- ja pohjavesien vedenkorkeudet ja niissä tapahtuneet muutokset. Teoksessa: Heikkinen M. & Väisänen T. (toim.). Rokuan alueen järvet ja lammet. Oulu, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen raportteja 5 | 2007. s. 8-4. ISBN 978-952-11-2771-7 (PDF).
- Hanski M (toim.) ym. (2010) Selvitys pohjavesialueiden rajaamismenettelyistä, Suomen ympäristö 7/2010. Helsinki, Maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 204 s. ISBN 978-952-11-3738-9.
- Honkamo M., 1994. Utajärven kallioperäkartta- karttalehti 3423. Geologian tutkimuskeskus, Rovaniemi.
- Hyvärinen V. 1986. Valunta. Teoksessa: Mustonen S. (toim.). Sovellettu hydrologia. Helsinki, Vesiyhdistys r.y, s. 152-225.
- Häikiö J., 2008. Vaalassa tutkitut suot ja niiden turvevarat, osa I. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 383. 108 s. ISBN 978-952-217-054-5.
- Ignatius H., Korpela K. & Kujansuu R., 1980. The Deglaciation of Finland after 10,000 B.P. Boreas 9, 217-228.
- L 19.5.1961/264. Vesilaki. Julkaisussa: Finlex [verkkotietokanta]. Oikeusministeriö ja Edita, [viitattu 21.12.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1961/19610264>
- Lundqvist J., 1986. Late Weichelian glaciation and deglaciation in Skandinavia. Quaternary deglaciations in the northern hemisphere. Quaternary Science Reviews, 269-292.
- Miettunen A. 1982. Rokuan alueen pohjavesiselvitykset. Utajärvi, Muhos.
- Okko V., 1955. Utajärven Pyykönsuo. Summary: A siderite profile from Pyykönsuo, Utajärvi. Suo 2.
- Pajunen H., 1990. Utajärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat, osa V. Geologian tutkimuskeskus, Turveraportti 241. 133 s. ISBN 951-690-392-4.
- Pajunen H., 1993. Utajärvellä tutkitut suot ja niiden turvevarat, osa VI. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 269. 27 s. ISBN 951-690-528-5.

Pajunen H., 1995. Holocene, accumulation of peat in the area of an esker and dune complex, Rokuanvaara, central Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 20. 125-133, 1995.

Pajunen H., 2009. Muhoksella tutkitut suot ja niiden turvevarat, osa IV. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 397. 59 s. ISBN 978-952-217-098-9.

Pohjois-Pohjanmaan Ympäristökeskus. 2010. Ahveroisen lammen vesitason nostamiskokeilu - Rokua. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulun yliopisto.

Reynolds J. M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 796 pp.

Salmi M., 1952. Turvetutkimuksia Pelson suoalueella. On peat investigations at the Pelso bog area. Geoteknisiä julkaisuja.

Salonen P. 1972. Rokuan alueen vesihuolto, vesiensuojelu ja virkistyskäyttö. Diplomityö. Rakennusinsinööriosasto, Oulun yliopisto. 77 s.

Toth, J., 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. J.Geophys.Res. 68, (16), 4795-4812.

Tuomikoski M., 1987. Rokuanvaara geologisena ja hydrogeologisena muodostumana. Pro gradu tutkielma, Geologian laitos, Oulun yliopisto.

Utajärven kunta, Muhoksen kunta, Vaalan kunta. Raportin valmistumisaika tuntematon [viitattu 15.12.2010].

Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., Alley, W.M., 1998. Ground water and surface water; a single resource. U.S.Geological Survey Circular 1139. USGS, Denver, Colorado, pp. 79.