



KITILÄN KAIVOKSEN KÄSITELTYJEN KUIVATUS- JA PROSESSIVESIEN VAIKUTUKSET KAIVOKSEN ALAPUOLISESSA VESISTÖSSÄ

Kaivosvesien sekoittuminen ja laimeneminen Seurujoessa

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Hämäläinen Emmy Maria Anniina	
Työn nimi Kittilän kaivoksen käsiteltyjen kuivatus- ja prosessivesien vaikutukset kaivoksen alapuolisessa vesistössä	
Päiväys 5.5.2015	Sivumäärä/Liitteet 54/19
Ohjaaja(t) Lehtori Teemu Räsänen, yliopettaja Pasi Pajula ja tutkija Soile Backnäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Geologian tutkimuskeskus (GTK), Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö on tehty Geologian tutkimuskeskuksen vetämälle kansainväliselle SUSMIN-hankkeelle, yhteistyössä Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivoksen kanssa. Työn tavoitteena oli tutkia Kittilän kaivoksen kuivatus- ja prosessivesien sekoittumista ja laimenemista Seurujoessa sekä tuottaa tietoa, miten kaivosvesiä kannattaa purkaa, jotta niiden ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman pienet. Samalla tarkasteltiin uusien mittalaitteiden, YSI EXO2 ja CastAway CTD, käyttöä ja tulosten luotettavuutta kaivosvesien monitoroinnissa.</p> <p>Tutkimuskohteena oli Kittilän kaivoksen kuivatus- ja prosessivesien lisäksi Seurujoki, johon käsitellyt kaivosvedet pintavalutuskenttien kautta puretaan. Tarkimmin tutkittavaksi parametriksi valittiin vesien sähkönjohtavuus, sillä se ilmentää hyvin mineraalipitoisten kaivosvesien esiintymistä luonnonvesissä. Käytössä oli neljä jatkuvatoimista mittalaitetta, joista kaksi YSI EXO2 -mittalaitetta monitoroi ympäristöön purettavia kaivosvesiä ja kaksi Oneset HOBO U24 Conductivity Logger -sensoria seurasi Seurujoen sähkönjohtavuutta kaivosvesien purkupisteiden ala- ja yläpuolella noin kolmen kuukauden ajan 18.6.–28.8.2014. Sähkönjohtavuuden lisäksi kuivatus- ja prosessivesistä seurattiin jatkuvatoimisesti pH:ta, redox-potentiaalia, liuenneen hapen pitoisuutta, sameutta, nitraattipitoisuutta ja lämpötilaa. Lisäksi CastAway CTD -mittalaitteella tehtiin sähkönjohtavuusmittauksia Seurujoella kerran kuukaudessa kesäkuusta syyskuuhun.</p> <p>Jatkuvatoimisilla ja CastAway CTD -mittauksilla todettiin, että kaivoksen kuivatus- ja prosessivedet nostivat Seurujoen sähkönjohtavuutta ja kaivosvesien sekoittuminen ja laimeneminen Seurujokeen oli hidasta. Seurujoen luontainen sähkönjohtavuus vaihteli tutkimuskuukausien aikana 50–100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja kaivosvedet nostivat sen tasolle 210–280 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kesä- ja elokuussa 2014 Seurujoesta otettujen vesinäytteiden analyysituloksista havaittiin, että korkea sähkönjohtavuus oli seurausta vesissä esiintyvistä metalleista, magnesium, kalium, natrium ja kalsium, sekä sulfaatista. Tutkimukset osoittivat myös, että kuivatusvedet olivat prosessivesiä vähemmän sähköä johtavia, mutta niiden vaikutus Seurujokeen oli prosessivesiä suurempi. Tämän uskotaan johtuvan siitä, että kuivatusvesien määrä oli suurempi ja ne purettiin pitkälle matkalle Seurujokea pintavalutuskentällä olevien luonnon ojien kautta. Prosessivedet sen sijaan purettiin Seurujokeen yhtä selvää ojaa pitkin. Kuivatus- ja prosessivesien purkaminen pintavalutuskentiltä Seurujokeen selviää purkuojia pitkin voisi tehostaa vesien sekoittumista ja laimenemista, erityisesti jos purkukohtaksi valitaan paikka, jossa joen virtaus on luonnostaan voimakas. Tehokas sekoittuminen vähentäisi ekologisia vaikutuksia Seurujoessa.</p>	
Avainsanat Ympäristömonitorointi, CastAway CTD, YSI EXO2, kaivosvesien sähkönjohtavuus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Hämäläinen Emmy Maria Anniina			
Title of Thesis Effects of the Treated Drainage and Process Water in the Water System below the Kittilä Mine			
Date	May 5, 2015	Pages/Appendices	54/19
Supervisor(s) Mr. Teemu Räsänen, Lecturer, Mr. Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mrs. Soile Backnäs, M.Sc. (Tech.)			
Client Organisation /Partners Geological Survey of Finland (GTK), Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos			
<p>Abstract</p> <p>This final project was commissioned by the international SUSMIN project, which was coordinated by the Geological Survey of Finland, in collaboration with the Agnico Eagle Finland Oy Kittilä mine. The aim was to study how the drainage and process waters at the Kittilä mine are mixed and diluted to the Seurujoki River and to provide information on how the mine drainage waters and process waters should be discharged to minimize environmental impacts. The focus was also to evaluate applicability of monitoring devices YSI EXO2 and CastAway CTD in studying quality and impacts of discharged mine waters.</p> <p>The data was collected from the Kittilä Mine drainage and process waters as well as the Seurujoki River, where the mine waters were discharged through the wetlands. The conductivity of water was chosen for the most accurate examination because it reflects well the occurrence of the mine waters in natural waters. Four continuous monitoring devices were installed. Two YSI EXO2 devices monitored the discharged mine waters and two Onset HOBO U24 Conductivity Loggers followed the conductivity of the Seurujoki River below and above the discharge points of the mine waters for approximately three months from June 18 to August 28 2014. The pH, redox potential, dissolved oxygen, turbidity, nitrate concentration and temperature from the mine waters were monitored continuously in addition to the conductivity by YSI EXO2. The Castaway CTD device was used to measure variation of electrical conductivity along the Seurujoki River once a month from June to September.</p> <p>The study showed that the drainage and process waters affected to the conductivity of the Seurujoki River and mine waters were mixed and diluted slowly to the Seurujoki River. The natural conductivity of the Seurujoki River was from 50 to 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and mine waters increased conductivity to the level of 210-280 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Water samples were taken from the Seurujoki River in June and August 2014 and analyzed in the laboratory. According to the water analyses the high conductivity was the result of metals, magnesium, potassium, sodium, calcium, and sulfate. The study also showed that the drainage waters were less conductive than the process-waters, but their effect to the Seurujoki River was higher. This is believed to be due to the fact that the amount of drainage water was much higher and they were discharged little by little from many points to the Seurujoki River. Process waters were discharged along one ditch. Discharging drainage and process waters through the wetlands to the Seurujoki River along clear ditches would intensify the mixing and dilution, especially if the points, where the river flow is naturally strong, were selected as the discharging points.</p>			
Keywords Environmental monitoring, CastAway CTD, YSI EXO2, the conductivity of the mine water			

ESIPUHE

Ensimmäisenä haluan kiittää SUSMIN-hanketta opinnäytetyöaiheesta, joka sai innostumaan heti ensimmäisellä ja haastoi sopivasti alusta loppuun asti. Aihe oli minulle erittäin mieluinen ja nautin uusien asioiden oppimisesta sekä oivaltamisesta koko työn ajan. Haluan myös kiittää Kuopion Geologian tutkimuskeskuksen kaivosympäristöryhmän jäseniä, joiden kanssa sain meloa Seurujokea ja kahvila pintavalutuskentillä. Kiitos neuvoista, avusta ja loistavasta työilmapiiristä sekä kentällä että toimistolla. Lisäksi kiitokset GWM-Engineering Oy:lle yhteistyöstä ja mittalaitteiden lainasta. Kiitos myös Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle, joka mahdollisti täydellisen keskittymisen opinnäytetyön tekoon tukemalla työtäni taloudellisesti.

Eriytyisen suuret kiitokset saavat ohjaajani Teemu Räsänen, Pasi Pajula ja Soile Backnäs. Ilman heidän apuaan työni olisi kaatunut jo alkuunsa. Jälkeenpäin ajatellen, en olisi voinut saada parempaa ohjaajakolmikkoa. Heidän uskomaton ammattitaitonsa opettajina ja tutkijana sekä kärsivällisyytensä ohjata, neuvoa, opastaa ja kannustaa olivat valmistumiseni kannalta oleellisia.

Lisäksi haluan kiittää opiskelukavereitani, jotka kulkivat tätä matkaa kanssani. Eriytyiskiitos Matiakselle, joka jakoi kanssani opinnäytetyön teon tuskat ja turhautumiset sekä ilot ja oivalluksen riemun. Kiitos kahviseurasta, kun väsymys oli voittamaton. Kiitos piristyksestä, kun Wordin automaattimuotoilu sai sekoamaan ja loputtomalta tuntunut datan käsittely oli viedä uskoni koko valmistumiseen.

Kiitos perheelleni ja ystäväilleni, jotka kannustivat, tukivat, nostivat maasta ja kuuntelivat väsyneen valituksia, kun stressitasoni hipoi pilviä keväällä 2015, Excel-taulukot veivät yöneni ja palautuspäivät lähestyivät nopeammin kuin tulosta syntyi. Eriytyisesti haluan kiittää tuesta ja turvallisesta sylistä rakasta Valtteria, joka kuunteli uskollisesti jokaisen hajoamiseni ja uskoi valmistumiseeni horjumatta. Kiitos hengähdyshetkistä Kolin kansallismaisemissa ja Pallastunturin kevähangilla.

Kuopiossa 28.4.2015

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KAIVOSTOIMINNAN VAIKUTUS VESIIN	8
2.1	Vesi kaivostoiminnassa	8
2.2	Kaivostoiminnan päästöt vesiin ja päästöjen ympäristövaikutukset	8
3	KITTILÄN KAIVOKSEN, SEURUJOEN JA TUTKIMUSSUUNNITELMAN KUVAUS	10
3.1	Kittilän kaivos	10
3.2	Seurujoki ja alueen ilmasto	12
3.3	Kittilän kaivoksen vesikierto	13
3.4	Kittilän kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien purkumäärät	14
3.5	Kittilän kaivoksen ympäristöntarkkailuohjelma	16
3.6	Seurujoen vedenlaadun seuranta kesällä 2014	17
4	VEDENLAADUN JATKUVATOIMINEN MONITOROINTI KITTILÄSSÄ	20
4.1	Jatkuvatoimiset vedenlaadun mittalaitteet ja mittausmenetelmät	20
4.2	Jatkuvatoimisten mittalaitteiden kalibrointi	25
4.3	Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulosten käsittely	26
5	SEURUJOEN VEDEN SÄHKÖNJOHTAVUUDEN TARKASTELU	27
5.1	CastAway CTD -mittalaite ja mittausmenetelmä	27
5.2	Kaivosvesien sähkönjohtavuuteen vaikuttavat aineet	29
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	34
6.1	Jatkuvatoiminen monitorointi	34
6.1.1	Seurujoen jatkuvatoiminen monitorointi	34
6.1.2	Kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien jatkuvatoiminen monitorointi	36
6.2	CastAway CTD -mittalaitteen luotettavuus ja käyttökelpoisuus sähkönjohtavuuden mittaamisessa	43
6.3	Seurujoen sähkönjohtavuus	44
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	51
	LÄHTEET	53
	LIITTEET	55

LIITE 1: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kesäkuu 2014

LIITE 2: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, heinäkuu 2014

LIITE 3: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, elokuu 2014

LIITE 4: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, syyskuu 2014

LIITE 5: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, kesäkuu 2014

LIITE 6: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, heinäkuu 2014

LIITE 7: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, elokuu 2014

LIITE 8: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, syyskuu 2014

LIITE 9: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, prosessivesien purkupiste

LIITE 10: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, kuivatusvesien purkupiste

LIITE 11: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, Lintulan kylä

LIITE 12: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, kaivoksen yläpuoli

LIITE 13: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, prosessivesien purkupiste

LIITE 14: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, kuivatusvesien purkupiste

LIITE 15: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, Lintulan kylä

LIITE 16: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, kaivoksen yläpuoli

LIITE 17: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, prosessivesien purkupiste

LIITE 18: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, kuivatusvesien purkupiste

LIITE 19: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, Lintulan kylä

1 JOHDANTO

Kaivostoiminta ja erityisesti kaivosvesien vaikutukset kaivosten lähivesistöihin ovat kuohuttaneet mediaa viime vuosien ajan. Geologian tutkimuskeskus (GTK) johtaa kansainvälistä SUSMIN-hanketta, Tools for sustainable gold mining in EU, jonka tarkoituksena on kehittää kestävää kulta-kaivostoimintaa ja tutkia muun muassa, miten kaivosvesiä kannattaisi tulevaisuudessa monitoroida. Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kultakaivos on hankkeessa yhtenä tutkimuskohteena.

Tämän opinnäytetyö on tehty SUSMIN-hankkeelle ja työn tavoitteena on selvittää Kittilän kultakaivoksen käsiteltyjen prosessi- ja kuivatusvesien kulkeutumista ja vaikutuksia, lähinnä sekoittumista ja leviämistä, kaivoksen alapuolisessa vesistössä ja tarjota sekä Kittilän kaivokselle että yleisesti kaivosalalle tietoa siitä, miten prosessi- ja kuivatusvesiä kannattaisi purkaa, jotta kaivosten vesistövaikutukset olisivat mahdollisimman pieniä. Samalla tarkastellaan uusien mittalaitteiden luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta kaivosvesien monitoroinnissa.

Kauppila, Komulainen, Makkonen ja Tuomisto kirjoittavat raportissaan Metallikaivosalueiden ympäristöriskinarviointiosaamisen kehittäminen (2013, 91), että korkea sähkönjohtavuusarvo, alhainen tai korkea pH, matala happipitoisuus ja/tai korkea hapetus-pelkistys-potentiaali ovat merkkejä vesien mahdollisesta kontaminoitumisesta. Edellä mainittuja parametreja käytetään yleisesti kaivosvesien tutkimisessa. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin ensisijaisesti sähkönjohtavuuden tutkimiseen. Kaivosten prosessi- ja kuivatusvedet sisältävät aineita, jotka nostavat vesien sähkönjohtavuutta selvästi, näin ollen kaivosvesien sekoittumista ja laimenemista luonnonvesiin voidaan selvittää vesien sähkönjohtavuutta tutkimalla. Vesien sähkönjohtokykyä nostavat aineet vaihtelevat riippuen kaivosalueen geologiasta sekä käytetystä rikastusprosessista.

Tutkimuskohteena on Kittilän kaivosvesien lisäksi Seurujoki, johon kaivoksen käsitellyt prosessi- ja kuivatusvedet pintavalutuskenttien kautta puretaan. Prosessi- ja kuivatusvesien sekoittumista ja laimenemista Seurujoessa tutkitaan YSI EXO2 -mittalaitteiden, CastAway CTD -mittalaitteen, Oneset HOBO U24 Conductivity Logger -sensorien ja laboratoriossa tehtävien vesianalyysien avulla. YSI EXO2 -mittalaitteilla tehdään jatkuvatoimista vedenlaadun monitorointia Kittilän kaivoksen pintavalutuskenttien purkupisteissä ja Oneset HOBO U24 Conductivity Logger -sensorit mittaavat sähkönjohtavuutta kaivoksen purkupisteiden ala- ja yläpuolella. Jatkuvatoimisesti mittausdataa kerätään kaivosvesistä ja Seurujoesta kesä–syyskuu 2014. CastAway CTD -mittauksilla selvitetään Seurujoen sähkönjohtavuuden muutoksia ajallisesti ja paikallisesti. Seurujoen sähkönjohtavuutta tutkitaan keran kuukaudessa kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa 2014 noin 14 km matkalta. CastAway CTD -mittauksilla saatujen tulosten perusteella valitaan joesta kohdat, joista otetaan vesinäytteet laboratorioanalyysijä varten. Laboratorioanalyysillä selvitetään, mitkä alkuaineet ja yhdisteet nostavat Seurujoen sähkönjohtokykyä.

YSI EXO2 ja CastAway CTD -mittalaitteet ovat saapuneet markkinoille 2010, eikä niillä ole aikaisemmin juuri tutkittu kaivosvesiä. Tästä syystä mittalaitteiden käyttökelpoisuuden tarkastelu ja tulosten luotettavuuden arviointi ovat tämän opinnäytetyön tärkeitä osia.

2 KAIVOSTOIMINNAN VAIKUTUS VESIIN

Tässä kappaleessa esitellään sekä veden tärkeyttä että haitallisuutta kaivostoiminnassa sekä yleisesti metallimalmikaivosten vaikutuksia kaivosten lähivesistöihin.

2.1 Vesi kaivostoiminnassa

Vesi on kaivostoiminnalle samaan aikaan sekä välttämättömyys että suuri rajoitus. Kaivostoiminnan aikana vettä tarvitaan malmien louhinnassa ja rikastuksessa. Louhinnassa vettä käytetään muun muassa porausten jäähdyttämiseen ja rikastuksessa mineraalien erottamiseen. Toisaalta, jotta louhinta on mahdollista, on louhosta ja kaivostunneleita pidettävä kuivana pumpaamalla louhokseen ja maan alle virtaavat sade- ja pohjavedet maan pinnalle. Nämä kuivatusvedet puretaan käsittelyn jälkeen ympäristöön, ellei niitä kyetä hyödyntämään rikastusprosessissa. Rikastusprosessi tuottaa jatkuvasti jätevesiä, joista osa puretaan mahdollisuuksien mukaan käsittelyn jälkeen ympäristöluvan mukaisesti ympäristöön ja osa kierrätetään takaisin rikastusprosessiin. Kaivosten ympäristöluvut rajoittavat ympäristöön purettavien kaivosvesien määrää ja näin ollen myös vesiä tuottavia kaivostointoja. Toisin sanoen, vesi on myös kaivosten toimintaa rajoittava tekijä. (Kauppila, Räisänen ja Myllyoja 2011, 74. Kauppila ym. 2013, 50. Lampinen 2013-05-02.)

Kaivokset pyrkivät kierrättämään vesiä mahdollisimman tehokkaasti, jotta luonnosta otettavat puhtaan veden määrät sekä luontoon purettavat jätevesimäärät olisivat mahdollisimman pieniä. Puhdas vesi on kuitenkin välttämätöntä osalle kaivoksen toiminnoista, eikä sitä voi täysin korvata käsitellyillä prosessi- tai kuivatusvesillä. Tämän takia suljettu vesikierto on kaivoksissa yleensä mahdotonta.

2.2 Kaivostoiminnan päästöt vesiin ja päästöjen ympäristövaikutukset

Vesipäästöt ovat yleensä kaivostoiminnan merkittävimpiä ympäristövaikutuksia. Kaivostointi kohdistaa pinta- ja pohjavesiin sekä määrällisiä että laadullisia muutoksia. Määrälliset muutokset ovat muutoksia esimerkiksi pohjaveden määrässä ja/tai virtaussuunnissa, kun alueen kallioperää muokataan louhimalla ja avolouhoksia sekä maanalaisia kaivoksia pidetään kuivina. Laadulliset muutokset ovat muutoksia esimerkiksi veden happamuudessa, sähkönjohtavuudessa, sameudessa tai mahdollisesti haitallisten aineiden pitoisuuksissa. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin lähinnä vesien laadullisia muutoksia.

Kaivosten prosessi- ja kuivatusvedet sisältävät yleensä kiintoainetta, metalleja, puolimetalleja, suoloja (esim. sulfaattia) sekä räjähdäaineiden jäämistä peräisin olevia typen eri yhdisteitä. Kun prosessi- ja kuivatusvedet puretaan käsiteltyinä ympäristöön, yleensä lähimpään vesistöön, kaivosvesien sisältämät haitta-aineet pääsevät kosketuksiin luonnon kanssa. Haitallisten aineiden esiintymiseen prosessi- ja kuivatusvesissä vaikuttavat alueen kallioperän geologia ja mineralogia sekä kaivoksen käytössä olevat rikastus- ja louhintamenetelmät. Kiintoaineita ja typen yhdisteitä esiintyy kaivosvesissä lähes poikkeuksetta. Typpiyhdisteistä yleisimmin kaivosvesissä esiintyy ammoniumnitraattia, joka on monien räjähdäaineiden pääraaka-aine. Muut typen yhdisteet vaihtelevat, riippuen kaivoksella käyt-

tettävästä räjähdäaineesta. Myös prosessissa ja vesien käsittelyssä käytettävät kemikaalit, kuten natrium- ja kalium-ksantaatit sekä kalsium, vaikuttavat ympäristöön purettavien prosessivesien laatuun. (Kauppila ym. 2011, 74–75. Backnäs 2015-04-10.)

Aineiden haitallisuuteen vaikuttavat pitoisuuksien lisäksi oleellisesti aineiden esiintymismuoto ja toksikologiset ominaisuudet sekä ympäristön happamuus ja hapetus-pelkistys-potentiaali. Myös muilla ympäristössä esiintyvillä aineilla ja yhdisteillä sekä alueen ilmastolla on merkitystä. Ympäristön happamuus eli pH ja hapetus-pelkistys-potentiaali vaikuttavat erityisesti metallien ja puolimetallien liukoisuuteen ja kulkeutumiseen ympäristössä. Metallien liukoisuus on yleensä suurinta happamissa ja pelkistävässä olosuhteissa. (Kauppila ym. 2011, 63. Kauppila ym. 2013, 90.)

Vesistöön purettavat kaivosvedet voivat aiheuttaa haittaa vesistön eliöstölle sekä talous- ja virkistyskäytölle. Vesistö voi happamoitua, samentua, rehevöityä tai suolaantua. Lisäksi kaivosvedet voivat aiheuttaa vesistölle metalli- ja ravinnekuormituksia. Pahimmassa tapauksessa kaivosvesissä olevat haitta-aineet saattavat aiheuttaa kalakuolemia tai vesistön likaantumista niin, ettei sitä voida käyttää enää talousvetenä tai virkistyskäytössä. (Kauppila ym. 2011, 87. Jantunen, Kauppila, Räisänen ym. 2015, 46.)

GTK teki vuosina 2008–2011 selvitystä suomalaisten metallimalmikaivosten ympäristövaikutuksista. Kittilän kaivos oli mukana kyseisessä tutkimuksessa ja tällöin selvisi, että Kittilän kaivoksen kuivatusvesillä oli Seurujoen veteen suurempi vaikutus kuin prosessivesillä. Kaivoksen kuivatusvesissä esiintyviä haitta-aineita olivat tällöin arseeni, antimoni, typpi ja kiintoaineet. Prosessivesissä taas esiintyi eniten rautaa, mangaania, nikkeliä, antimoniumia, arseenia ja sulfaattia. (Kauppila ym. 2011, 74–76.)

3 KITTILÄN KAIVOKSEN, SEURUJOEN JA TUTKIMUSSUUNNITELMAN KUVAUS

Tässä kappaleessa on esitelty yleisesti tutkimuskohdetta, Kittilän kaivosta ja Seurujokea, käyty läpi kaivoksen rikastusprosessia ja vesien kulkua sekä alueen ilmastoa ja kaivosvesien purkumääriä. Lisäksi kappaleen lopussa esitellään opinnäytetyössä tehtyä tutkimusta: suunnitelmat, aikataulut, jatkuvat toimien mittareiden sijoituskohteet sekä vesinäytteille tehdyt analyysit.

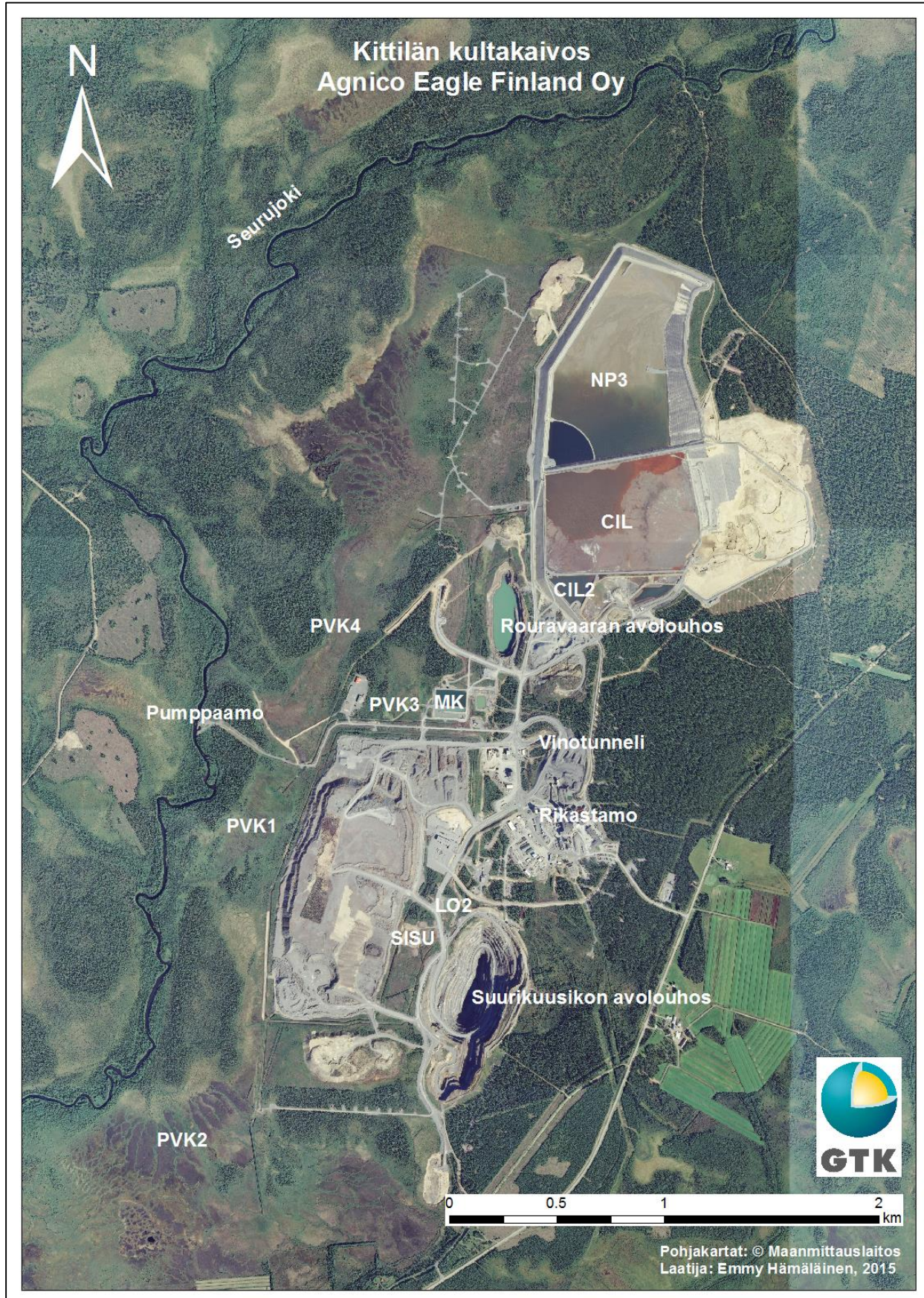
3.1 Kittilän kaivos

Kittilän kultakaivoksen omistaa kanadalainen kullantuottaja Agnico Eagle Mines Limited. Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivos sijaitsee Länsi-Lapissa, Kittilän kunnassa, Kittilän kirkonkylältä noin 35 km linnuntietä koilliseen. Kittilän kaivoksella louhitaan malmia vuosittain noin 1,1 milj. tonnia ja kuluttaa tuotetaan noin 4 500 kg (Ramboll 2015, 2). Tämä tekee kaivoksesta Euroopan suurimman kullantuottajan. Tämän hetkisillä tuotantomäärillä ja malmivaroilla kaivoksen odotetaan toimivan vuoteen 2034 asti. Kittilän kaivos työllistää noin 400 omaa työntekijää ja tarjoaa työpaikan noin 100 urakoitsijalle. (Lampinen 2013-05-02.)

Ensimmäiset viitteet Suurikuusikon kultraesiintymästä löydettiin vuonna 1986 Pokantien rakentamisen yhteydessä. 90-luvulla alueella tehtiin paljon malminetsintätöitä sekä satoja koekairauksia. Kittilän kaivos sai ympäristöluvan 1.11.2002. Tammikuussa 2003 ruotsalaiselle Riddarhyttan Resources AB:lle myönnettiin kaivoskirja Suurikuusikon esiintymään ja 2005 Agnico Eagle Mines Limited osti Riddarhyttan Resources AB:n ja perusti tytäryhtiön, Agnico Eagle Finland Oy:n. Lopullinen päätös kaivoksen rakentamisesta on tehty vuonna 2006. Malmin louhinta aloitettiin 2008 ja ensimmäiset kultaharkot valettiin tammikuussa 2009. Maanalaisen kaivoksen tuotanto alkoi lokakuussa 2010 ja avolouhostoiminta Rouravaaran ja Suurikuusikon avolouhoksissa päättyi marraskuussa 2012. Vuonna 2013 tehtiin päätös kaivoksen tuotannon laajentamisesta ja laajennus saatiin päätökseen vuoden 2014 lopussa. Laajennus nosti käsiteltävän malmin määrää noin 25 %. (Pöyry 2012, 18–19.)

Suurikuusikon kaivospiiri on kooltaan 857 ha. Kaivospiirin (kuva 1) sisällä sijaitsee sekä Suurikuusikon että Rouravaaran avolouhokset, vinotunneli maanalaiseen kaivokseen, rikastamo, hallintorakennukset, happitehdas, pastalaitos, useita varastohalleja ja -kontteja, räjähdäinekontit, kolme rikastushiekka-allasta, useita vesienkäsittelylaitteita, sivukivien läjitysalueet, murskan mäki ja yksi vesienkäsittelyyn kuuluvista pintavalutuskentistä. Kolme muuta pintavalutuskenttää sijaitsevat välittömässä läheisyydessä kaivospiirin ulkopuolella.

Kaivoksen kallioperä sijaitsee varhaisproterotsooisella Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä ja esiintymä kuuluu Kiistalan hiertovyöhykkeeseen. Suurikuusikon esiintymän kulta on refraktorista eli noin 96 % kullasta on sitoutuneena sulfidimineraaleihin, kuten arseeni- ja rikkikiisuihin, mikä tekee kullan rikastamisesta haastavaa. Toistaiseksi Kittilän kaivokselle taloudellisesti kannattavin kullanerotusprosessi on syanidiliuotus. Rikastusprosessiin kuuluu murskaus, jauhatus, vaahdotus, painehapetus (autoklaavihapetus), liuotus ja elektrolyysi. Kittilässä valettujen kultaharkkojen kultapitoisuus on 92–95 %. (Lampinen 2013-05-02.)



KUVA 1. Kittilän kultakaivos, kaivospiiri.

3.2 Seurujoki ja alueen ilmasto

Seurujoki on noin 50 km pitkä joki, joka alkaa Jakovaaran alarinteeltä, noin 20 km Kittilän kaivoksesta koilliseen. Joki kiemurtaa kokonaisuudessaan Kittilän kunnan alueella. Hieman Kiistalan kylän jälkeen Seurujoki yhtyy Loukiseen ja laskee lopulta Ounasjokeen Levitunturin itäpuolella. Joen valuma-alue on noin 307 km² ja järvisyysprosentti 0,27 %. Seurujoki virtaa subarktisella alueella, jolla vuoden keskilämpötila on alle 0 °C. Alueen vuotuinen sadanta on 500–600 mm ja haihdunta puolestaan 200–300 mm. Seurujoki on jäässä keskimäärin marraskuusta toukokuuhun. (Pöyry 2012, 88. Aluehallintovirasto 2013, 12.)

Seurujoen vesi on luonnostaan väritöntä, kirkasta, vähäravinteista, lievästi emäksistä ja laadultaan melko hyvää. Joen sijainti Kittilän vihreäkivivöhykkeellä nostaa veden luonnollisen metallipitoisuuden hieman ympäristöä suuremmaksi. Erityisesti arseenia, antimonia ja sinkkiä esiintyy vedessä luontaisesti paljon. Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat ensisijaisesti metsätalouden aiheuttama hajakuormitus sekä kaivoksen pistekuormitus. Seurujokea on muokattu 1960-luvulla uittoja varten ja uittojen päättymisen jälkeen jokeen on tehty kunnostustoimia. (Pöyry 2012, 90.)

Tässä opinnäytetyössä Seurujoesta tutkittiin jatkuvatoimisilla mittalaitteilla ja CastAway CTD -mittalaitteella yhteensä noin 16,5 km mittainen osuus. CastAway CTD -mittausten keskisyvyys oli 0,65 m. Matalimmillaan joki oli vain 0,10 m ja syvimmillään noin 2,0 m. Leveyttä Seurujoella oli tutkitulla jokiosuudella keskimäärin 15 m.

Seurujoessa kaivosvesien purkupisteiden yläpuolella sijaitsee Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY-keskus) virtaamamittausasema. Sen mittausten mukaan Seurujoen keskivirtaama vuonna 2014 oli aikaisempiin vuosiin nähden alhainen, vain 2,1 m³/s. Vuosina 2008–2013 Seurujoessa virtasi keskimäärin 4,1 m³/s vettä eli puolet enemmän kuin vuonna 2014. Opinnäytetyön tutkimuskuukausien aikana (kesäkuun alusta syyskuun loppuun) Seurujoen keskivirtaama oli 2,2 m³/s. Tutkimuskuukausista syys- ja heinäkuussa Seurujoessa virtasi vähiten vettä (taulukko 1). Kevään 2014 tulvahuippu ajoittui toukokuulle ja jäi noin puoleen aikaisempien vuosien tulvahuipuista. (Ramboll 2015, 8-9.)

TAULUKKO 1. Seurujoen keskivirtaamat tutkimuskuukausien aikana kesällä 2014. (Ramboll 2015, 9.)

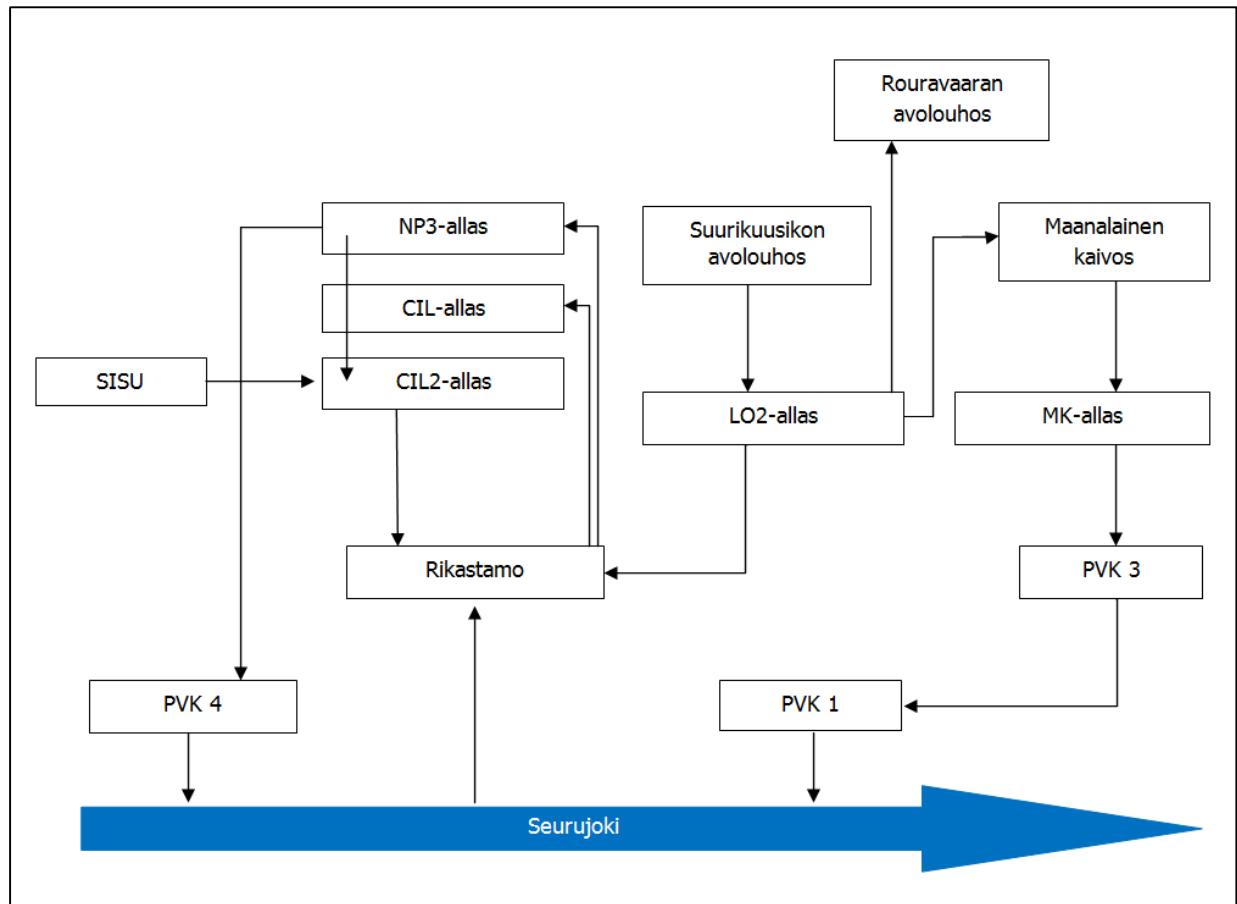
Kuukausi	Seurujoen virtaama, m ³ /s
Kesäkuu	3,2
Heinäkuu	1,8
Elokuu	2,1
Syyskuu	1,7

3.3 Kittilän kaivoksen vesikierto

Kittilän kaivoksella käsitellään sekä maanalaisen kaivoksen ja Suurikuusikon avolouhoksen kuivatusvesiä että rikastusprosessissa syntyviä prosessivesiä. Rikastamo käyttää toiminnassaan keskimäärin 3 milj. m³ vettä vuodessa. Tästä vesimäärästä 65 % kiertää rikastamon ja rikastushiekka-altaiden välillä ja loput noin 1,1 milj. m³ otetaan rikastamolle Seurujoesta (Aluehallintovirasto 2013, 19). Eri laatuksille rikastushiekkajakeille kaivoksella on kolme rikastushiekka-allasta (NP3, CIL ja CIL2), joihin prosessivedet johdetaan. Myös kuivatusvesiä taltioidaan lyhytaikaisesti kaivosalueella kolmeen eri altaaseen (MK, LO2 ja SISU) ennen niiden purkamista pintavalutuskenttien 1 ja 3 kautta Seurujokeen. (Lampinen 2013-05-02.)

Rikastusprosessin vaahdotuksessa syntyy rikastushiekan ja veden muodostama liete, joka neutraloidaan ja kerätään sille tarkoitettuun rikastushiekka-altaaseen, NP3-allas. Neutralointi tarkoittaa käytännössä lietteen pH:n nostamista, jotta veteen liuenneet metallit saostuvat. NP3-altaassa rikastushiekka erottuu vedestä, minkä jälkeen osa vedestä otetaan uudelleen käyttöön prosessivedeksi ja osa puretaan ympäristöluvan mukaisesti pintavalutuskentän 4 kautta Seurujokeen. Rikastusprosessin syanidiliuotus taas synnyttää syanidipitoisen rikastuslietteen, joka ohjataan syanidin tuhoamisprosessiin. Syanidin tuhoamiseen käytetään INCO-menetelmää, joka edustaa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT). Kyseisessä prosessissa syanidi hajotetaan vaarattomiksi yhdisteiksi kemikaalien avulla. Tämän jälkeen liete johdetaan erilliseen rikastushiekka-altaaseen, CIL2-allas. Kaikki CIL2-altaan vesi kierrätetään CIL-altaan kautta takaisin rikastusprosessiin. CIL- ja CIL2-altaiden vedet eivät koskaan pääse kosketuksiin kaivoksen ympäristön kanssa. (Pöyry 2012, 27–31.)

Prosessivesien lisäksi kaivoksella käsitellään kuivatusvesiä. Kuivatusvesillä tarkoitetaan maanalaisesta kaivoksesta ja Suurikuusikon avolouhoksesta maan pinnalle pumpattuja vesiä. Maanalaisen kaivoksen kuivatusvedet pumpataan MK-altaaseen ja avolouhoksen vedet LO2-altaaseen. Lisäksi sivukiven läjitysalueen sadevedet kerätään SISU-altaaseen. MK-altaasta vedet johdetaan pintavalutuskenttien 3 ja 1 kautta Seurujokeen. LO2-altaaseen pumpattavat avolouhoksen kuivatusvedet käytetään joko rikastamalla prosessivetenä, maan alla poravetenä tai pumpataan Rouravaaran avolouhokseen. Suurikuusikon avolouhoksen kuivatusvesiä ei ole pumpattu enää 16.5.2013 jälkeen pintavalutuskenttien kautta Seurujokeen kuten aikaisemmin tehtiin. SISU-altaan vedet pumpataan tarvittaessa CIL2-altaaseen, mutta toistaiseksi SISU-altaan vettä ei ole koskaan tarvinnut vähentää. Sekä prosessi- että kuivatusvesien kierto kaivosalueella on kuvattu alla olevassa kuviossa 1. (Ramboll 2015, 4.)



KUVIO 1. Vesikierto Kittilän kaivoksella (Kuvio: Emmy Hämäläinen).

3.4 Kittilän kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien purkumäärät

Pintavalutuskentille 4 ja 1 purettavien kaivosvesien virtaamaa seurataan kaivoksella EHP-tekniikan jatkuvatoimisilla mittausasemilla. Kaivoksen ympäristölupa määrittää, kuinka paljon käsiteltyjä prosessi- ja kuivatusvesiä saa purkaa Seurujokeen. Prosessivesien sallitut purkumäärät vaihtelevat vuoden mittaan ja kyseiset määrät on esitetty alla olevassa taulukossa 2. Purettujen prosessiveden määrä ei kuitenkaan koskaan saa ylittää 2 % Seurujoen sen hetkisestä virtaamasta. Myös kuivatusvesien purku on riippuvainen Seurujoen virtaamasta. Kuivatusvesien määrä ei saa koskaan ylittää 5 % Seurujoen sen hetkisestä virtaamasta. Muita ehtoja kuivatusvesien purkumäärille ei ole. Kaivos saa Seurujoen virtaamatiedot päivittäin Lapin ELY-keskukselta, joka mittaa virtaamaa automaattisella virtaamamittausasemalla kaivoksen purkupisteiden yläpuolella (Pöyry 2012, 89). Koska virtaamamittaus ei osaa huomioida joen jääpeitettä, talviaikaan purkumäärät määräytyvät Seurujoesta tehdyn Vemala-vesistömallin pohjalta luodun ennustetiedon perusteella. (Aluehallintovirasto 2010, 30–31.)

TAULUKKO 2. Ympäristöluvan mukaiset, NP3-altaasta Seurujokeen purettavien prosessivesien enimmäisvirtaamat. (Aluehallintovirasto 2010, 30.)

Kuukausi	NP3-altaasta Seurujokeen purettava enimmäisvirtaama, m ³ /h
Joulu-, tammi ja helmikuu	150
Maalis-huhtikuu	100
Touko-kesäkuu	300
Heinä-, elo- ja syyskuu	90
Loka-marraskuu	200

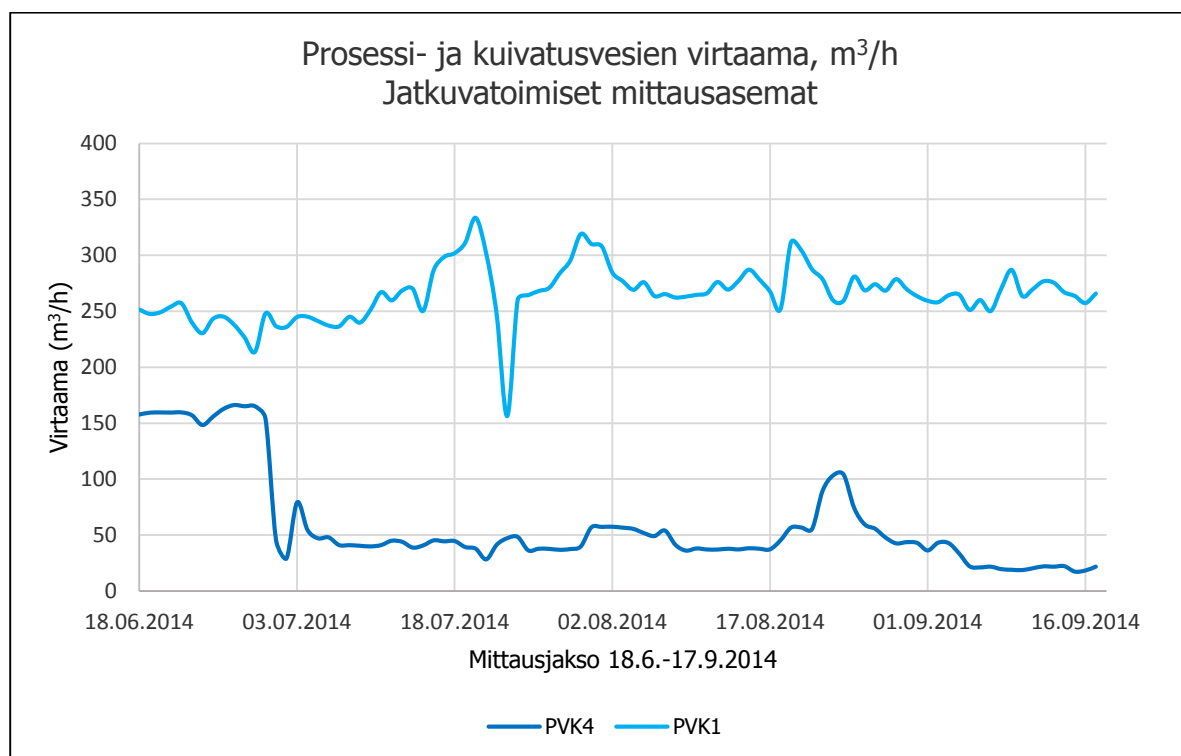
Kaivosvesien purkumääriä seuraavia jatkuvatoimisia mittausasemia on kaivosalueella kolme: Rimminvuoma sekä Löytöjänkkä 1 ja 2. Taulukoissa 3 ja 4 on käytetty Löytöjänkkä 2 -mittausaseman virtaamamittauksia kuivatusvesien osalta ja Rimminvuoma-mittausaseman virtaamamittauksia prosessivesien osalta. Ramboll Finland Oy:n tekemän Kittilän kaivoksen vesipäästöjen tarkkailu vuosiraportin (2015, 8-9) ja jatkuvatoimisten mittausasemien mukaan kaivos purki kesä–syyskuun 2014 aikana prosessi- ja kuivatusvesiä yhteensä 296–416 m³/h (taulukko 3). Prosessivesien osuus oli keskimäärin 16 % ja kuivatusvesien 84 % Seurujokeen puretuista kaivosvesistä (taulukko 4). Prosessivesiä purettiin kesä-syyskuu 2014 välillä keskimäärin 75 m³/h, eniten kesäkuussa ja vähiten syyskuussa (kuvio 2). Kuivatusvesiä purettiin samalla ajanjaksolla keskimäärin 262 m³/h. Kittilän kaivos purki siis kesällä 2014 Seurujokeen kuivatusvesiä huomattavasti enemmän kuin prosessivesiä. Taulukoita 2 ja 3 vertaamalla nähdään, että kaivos olisi ympäristöluvan perusteella saanut purkaa prosessivesiä puolet enemmän kuin kesän 2014 aikana purettiin. Alla olevasta taulukosta 4 nähdään myös, että kaivosvesien yhteismäärä Seurujoen virtaamasta oli tutkimuskuukausien aikana keskimäärin 5 %.

TAULUKKO 3. Seurujoen virtaama ja jatkuvatoimisten mittausasemien mittaamat puretut kaivosvesimäärät kesä–syyskuussa 2014. (Ramboll 2015, 8–9.)

2014	Seurujoki, m ³ /h	Prosessivedet, m ³ /h	Kuivatusvedet, m ³ /h	Kaivosvedet yhteensä, m ³ /h
Kesäkuu	11672	174	242	416
Heinäkuu	6630	44	266	310
Elokuu	7488	52	275	327
Syyskuu	5989	31	265	296
Yhteensä	31779	301	1048	1349
Keskimäärin	7945	75	262	337

TAULUKKO 4. Seurujokeen purettujen kuivatus- ja prosessivesi määrien suhde Seurujoen virtaamaan sekä toisiinsa.

2014	Kaivosvesien osuus Seurujoen vesimäärästä, %	Prosessivesien osuus kaivosvesien määrästä, %	Kuivatusvesien osuus kaivosvesien määrästä, %
Kesäkuu	4,8	31	69
Heinäkuu	6,5	10	90
Elokuu	5,2	13	87
Syyskuu	4,7	11	89
Yhteensä	4,2	22	78
Keskimäärin	5	16	84



KUVIO 2. Jatkuvatoimisten mittausasemien mitaamat kuivatus- ja prosessivesien purkumäärät 18.6.–17.9.2014. PVK4 kuvaa prosessivesien ja PVK1 kuivatusvesien purkumääriä.

3.5 Kittilän kaivoksen ympäristöntarkkailuohjelma

Kittilän kaivoksen kaivosvesien vaikutuksia Seurujokeen ja kaivoksen lähiympäristöön tarkkaillaan ympäri vuoden ympäristöntarkkailuohjelman mukaisesti. Ympäristöntarkkailuohjelma on jaettu kahteen osaan: velvoite- ja omaehtoiseen tarkkailuun. Velvoitetarkkailusta on määrätty kaivoksen ympäristöluvassa (Aluehallintovirasto 2013, 114–115). Omaehtoinen tarkkailu on velvoitetarkkailun lisäksi suoritettavaa, kaivoksen itse määrittelemää, tarkkailua. (Lampinen 2013-05-02.)

Velvoitetarkkailu jaetaan päästötarkkailuun ja ympäristövaikutusten tarkkailuun. Päästötarkkailuun kuuluu prosessivesien, kuivatusvesien, pintavalutuskenttien, talousjätevesien, rikastushiekka-aldien mahdollisten suotovesien ja sivukiven läjitysalueen täytön sisäisten vesien tarkkailu. Ympä-

ristövaikutusten tarkkailuun kuuluu pintavesien, Seurujoen, pohjavesien ja lähikaivojen tarkkailu sekä biologinen tarkkailu. (Lampinen 2013-05-02.)

Velvoitetarkkailun mukaisesti kaivos lähettää pintavalutuskentälle 4 purettavasta prosessivedestä ulkopuolisen konsulttilaboratorion analysoitavaksi vesinäytteen neljänä päivänä viikossa, maanantaista torstaihin. Pintavalutuskentille 3 ja 1 meneviä kuivatusvesiä sekä pintavalutuskentiltä 1 ja 4 Seurujokeen purkautuvia prosessi- ja kuivatusvesiä seurataan kuukausittain konsulttilaboratoriolle lähetettävillä vesinäytteillä. Lisäksi pintavesiä tarkkaillaan viikoittain konsulttilaboratorion analysoitavaksi lähetettävällä vesinäytteellä. Kaivoksen ympäristökonsulttina toimii tällä hetkellä Ramboll Finland Oy ja vesinäytteet analysoidaan Lahden laboratoriossa. Lisäksi pintavalutuskentille 1 ja 4 meneviä käsiteltyjä prosessi- ja kuivatusvesiä seurataan jatkuvatoimisilla mittausasemilla. Mittausasemat seuraavat veden pH:ta, kiintoainepitoisuutta ja virtaamaa. (Ramboll 2015, 4.)

Omaehtoinen tarkkailu koostuu pääasiallisesti samoista näytepisteistä kuin velvoitetarkkailu, jolloin omaehtoisen tarkkailun tarkoituksena on tuottaa lisää tutkittua dataa, jotta vesien tila olisi mahdollisimman hyvin kaivoksen tiedossa. Näiden lisäksi omaehtoiseen tarkkailuun kuuluu myös muutamia velvoitetarkkailuun kuulumattomia tarkkailupisteitä. Tällaiset velvoitetarkkailuun kuulumattomat näytepisteet ovat yleensä erilaisia tarkkailukampanjoita. Niiden tarkoituksena on kiinnittää normaalia enemmän huomiota kampanjaan valittuun kohteeseen. Kohteet voivat olla esimerkiksi tiettyjä kaivoksella syntyviä vesiä tai tiettyjä vesissä esiintyviä parametreja. Kampanjoiden pituudet vaihtelevat kuukausista vuosiin. Myös omaehtoisen tarkkailun analyysit toteuttaa tällä hetkellä Ramboll Finland Oy.

Kaivoksen virallisen ympäristöntarkkailuohjelman lisäksi kaivoksen oma laboratorio analysoi kaivosvesiä pikatesteillä, joiden tulokset valmistuvat aina viimeistään seuraavaksi vuorokaudeksi. Laboratorio tekee muun muassa pintavalutuskentälle 4 purettavalle prosessivedelle pH- ja sameusanalyysit seitsemänä päivänä viikossa ympäri vuoden. Menettelyyn on päädytty, jotta kaivos pystyisi vastaamaan esimerkiksi Seurujokeen purettavan prosessiveden äkilliseen laadun heikkenemiseen mahdollisimman nopeasti. (Lampinen 2013-05-02.)

3.6 Seurujoen vedenlaadun seuranta kesällä 2014

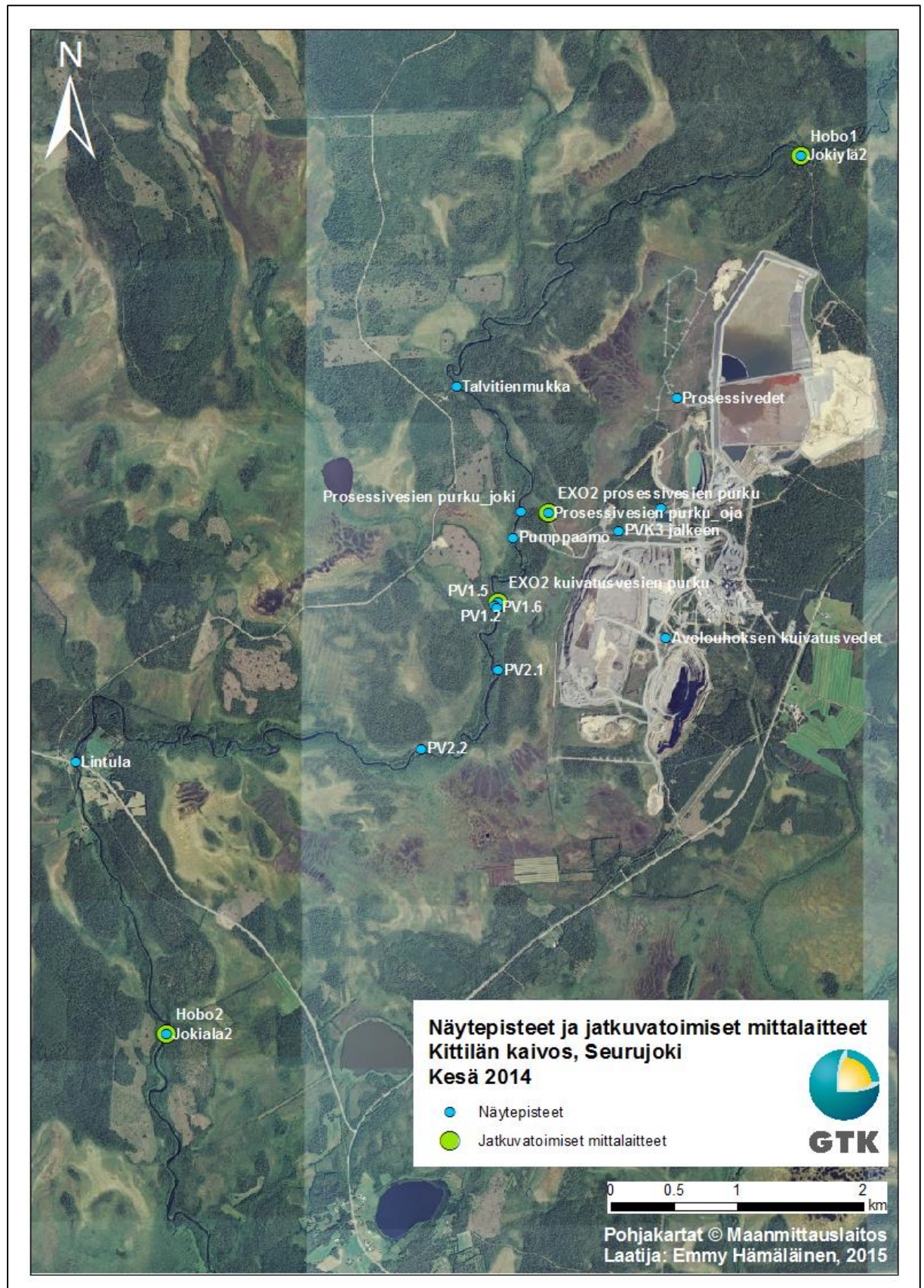
Tässä opinnäytetyössä Seurujoen vedenlaatua seurattiin kesällä 2014 jatkuvatoimisilla mittalaitteilla, kerran kuukaudessa tehtävillä sähkönjohtavuusmittauksilla ja laboratoriossa suoritettavilla vesianalyseilla. Jatkuvatoimisia mittareita oli neljä ja ne seurasivat Seurujoen sekä kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien laatua 16.6.–17.9.2014 välisen ajan. Prosessi- ja kuivatusvesiä seuranneet mittalaitteet kalibroitiin 28.8.2014. Valitettavasti kalibrointi epäonnistui ja tulosten epäluotettavuuden takia kalibroinnin jälkeen mitatut tulokset on jätetty tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Tässä opinnäytetyössä on siis käsitelty jatkuvatoimisten mittausten tuloksia ajalta 16.6.–28.8.2014. Jatkuvatoimisia mittareita ja mittausmenetelmiä on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tuloksia verrattiin EHP-tekniikan mittausasemien virtaamatuloksiin sekä ilmatieteenlaitoksen Pokan sääaseman sadantatietoihin. EHP-tekniikka Oy seuraa kuivatus- ja prosessivesien purkua Kittilän kaivoksella jatkuvatoimisesti kolmella mittausasemalla. Rimminvuoman mittausasema seuraa prosessivesien purkumääriä ja Löytöjänkkä 1 ja 2 seuraavat kuivatusvesien purkumääriä. Ilmatieteenlaitoksella on Pokassa, linnuntietä noin 30 km päässä Kittilän kaivokselta, sääasema, jonka mittaamat sadantatiedot ovat saatavilla ilmatieteenlaitoksen avoimessa metadatatassa. Sadannan vaikutusta kuivatus- ja prosessivesien sekä Seurujoen sähkönjohtavuuteen tutkittiin näiden Pokan sääaseman tietojen perusteella.

CastAway CTD -mittalaitteella tehtiin sähkönjohtavuusmittaukset Seurujoella 16.6., 22.7., 26.–27.8. ja 17.9.2014. Kesä- ja elokuussa CastAway CTD -sähkönjohtavuusmittaukset aloitettiin kaivospiirin pohjoispuolelta näytesteestä Jokiylä2 (kuva 2), heinä- ja syyskuussa mittaukset aloitettiin kaivospiirin länsipuolelta näytesteestä Prosessivesien purku_joki (kuva 2). Kaikilla kerroilla mittaukset lopetettiin kaivoksesta lounaaseen sijaitsevaan Lintulan kylään. Kesä- ja elokuun mittauksissa Seurujoen sähkönjohtavuutta tutkittiin noin 14 km matkalta ja heinä- sekä syyskuun mittauksissa noin 8 km matkalta. Sähkönjohtavuusmittauksia on esitelty tarkemmin kappaleessa 5.

Lisäksi Seurujoesta ja kaivosvesistä otettiin vesinäytteet kesä- ja elokuussa 2014. Näytesteet on esitetty alla olevassa kuvassa 2. Näytteet analysoi FINAS-akkreditoitu laboratorio Labtium Oy Espoossa. Tarvittaessa vesinäytteet suodatettiin ja kestäväitettiin Kittilässä ennen Espooseen lähettämistä. Vesinäytteistä analysoitiin seuraavat kokonais- ja liuenneet alkuainepitoisuudet:

- hopea (Ag),
- alumiini (Al),
- arseeni (As),
- boori (B),
- bariumi (Ba),
- berylliumi (Be),
- vismutti (Bi),
- kadmium (Cd),
- koboltti (Co),
- kromi (Cr),
- kupari (Cu),
- jodi (I),
- kalium (K),
- litium (Li),
- mangaani (Mn),
- molybdeeni (Mo),
- nikkeli (Ni),
- fosfori (P),
- lyijy (Pb),
- rubidium (Rb),
- antimoni (Sb),
- seleeni (Se),
- strontium (Sr),
- torium (Th),
- tallium (Tl),
- uraani (U),
- vanadiini (V),
- sinkki (Zn),
- kalsium (Ca),
- rauta (Fe),
- magnesium (Mg),
- natrium (Na),
- pii (Si),
- rikki (S),
- liuenneet orgaaninen hiili (DOC),
- bromi (Br),
- kloori (Cl),
- fluori (F),
- sulfaatti (SO₄) ja
- nitraatti (NO₃) sekä
- fotometrisellä pikamäärityksellä nitriitti (NO₂).



KUVA 2. Vesinäytepisteet ja jatkuvatoimiset mittalaitteet Kittilän kaivoksella ja Seurujoella kesällä 2014.

4 VEDENLAADUN JATKUVATOIMINEN MONITOROINTI KITTELÄSSÄ

Jatkuvatoimisella monitoroinnilla tarkoitetaan mittauksia, jotka on ohjelmoitu tapahtumaan automaattisesti ja asetettujen ohjearvojen mukaisesti. Esimerkiksi vedenlaadun tutkimiseen tarvitaan yleensä pitkäaikaisia sekä säännöllisesti toistettuja mittauksia samoista parametreista, jotta muutokset vedenlaadussa havaitaan. Kun mittausten välinen aika on tarpeeksi lyhyt suhteessa mittauskohde- teessa mahdollisesti tapahtuviin muutoksiin, voidaan mittausta kutsua jatkuvatoimiseksi (Wagner, Boulger, Oblinger ja Smith 2006, 1). Jatkuvatoimisen mittaamisen tarkoituksena on kerätä dataa mittauskohde- teessa tapahtuvista sekä lyhyen että pitkän aikavälin muutoksista.

Bernd Lottermoser määrittelee kirjassaan *Mine Wastes* (2007, 122) jatkuvatoimiselle kaivosvesien monitoroinnille viisi perustarkoitusta:

- kaivosympäristön luonnollisten taustapitoisuuksien määrittely,
- vesiin liuenneiden tai saostuneiden aineiden esiintymisen ja muuttumisen tunnistaminen,
- varmistaminen, että ympäristöön purettavat kaivosvedet kohtaavat niille asetut laatustandardit,
- ympäristön pinta- ja pohjavesien puhtauden suojeleminen ja
- kaivokselle valitun vesienkäsittelymenetelmän toiminnan varmistaminen.

Tässä tutkimuksessa jatkuvatoimisella monitoroinnilla pyrittiin määrittelemään Seurujoen luonnolliset taustapitoisuudet sähkönjohtavuudelle, saamaan tietoa siitä, miten kaivosvedet eroavat joessa virtaavista luonnonvesistä, miten kaivosvedet kulkeutuvat ja laimenevat joessa ja muuttavat joen vedenlaadua ja kuinka kauas kaivosvesien vaikutus Seurujoessa yltää.

4.1 Jatkuvatoimiset vedenlaadun mittalaitteet ja mittausmenetelmät

Kittilän kaivoksen kuivatus- ja prosessivesien vaikutuksia Seurujoen vedenlaatuun mitattiin jatkuvatoimisesti kesällä 2014 kahdella YSI EXO2 -mittalaitteella ja kahdella Onset HOB0 U24 Conductivity Logger -sensorilla. Tavoitteena oli seurata Seurujoessa virtaavan veden sähkönjohtavuuden vaihtelua sekä kaivoksen kuivatus- ja prosessivesien laatua. Kuivatus- ja prosessivesien laatua seurattiin YSI EXO2 -mittalaitteilla, joissa oli seitsemän optista porttia, joihin mittaussensorit asennettiin. Tässä tutkimuksessa YSI EXO2 -mittalaitteisiin valittiin sensorit seuraaville parametreille:

- sähkönjohtavuus (EC),
- pH,
- redox (ORP),
- liuennut happi (DO),
- sameus,
- nitraatti (NO_3^-),
- lämpötila ja
- painekorkeus.

YSI EXO2 -mittalaitteissa oli harja, joka puhdisti sensorit aina ennen mittauksen aloitusta, jotta mit- taustulokset pysyivät luotettavina. Mittalaitteet olivat 71,1 cm pitkiä ja halkaisijaltaan 7,62 cm. Painoa laitteella oli 3,6 kg. Laite toimi lämpötilassa -5 – 50 °C ja syvyydessä 0–250 m. Mittalaitteen muistikapa-

siteetti oli 512 MB. Alla olevassa taulukossa 5 on esitelty YSI EXO2 -mittalaitteen sensorien ominaisuuksia ja mittaustarkkuus. (Xylem Inc 2012, 7.)

TAULUKKO 5. YSI EXO2 -mittalaitteen sensorien ominaisuudet ja tarkkuus. (Xylem Inc 2012, 13–27.)

YSI EXO2 Sensorit	Mittaus-yksikkö	Vaihteluväli	Resoluutio	Tarkkuus (*mitatusta tuloksesta)	
Sähkönjohtavuus	µS/cm	0-200 mS/cm	0.0001-0.01 mS/cm	0-100 mS/cm 100-200 mS/cm	± 0.5 % * ± 1 % *
pH		0-14	0,01		± 0.1
Redox	mV	-999-999 mV	0.1 mV		± 20 mV
Liuennut happi	mg/l	0-50 mg/l	0.01 mg/l	0-20 mg/l 20-50 mg/l	± 1 % * tai 0.1 mg/l ± 5 % *
Sameus	FNU	0-4000 FNU	0-999 FNU 1000-4000 FNU	0.01 FNU 0.1 FNU	± 2 % * tai 0.3 FNU ± 5 % *
Nitraatti	mg/l	0-200 mg/l	0.01 mg/l		± 10 % * tai 2 mg/l
Lämpötila	°C	-5-50 °C	0.001 °C	-5-35 °C 35-50 °C	± 0.01 °C ± 0.05 °C
Painekorkeus	m	0-250 m	0.001 m		0.10 m

YSI EXO2 -mittalaitteet asennettiin kaivoksen pintavalutus kenttien 1 ja 4 purkukohtiin (kuva 2). Pintavalutus kenttä 4 purkaa vetensä selkeää ojaa pitkin Seurujokeen, joten mittalaitte asennettiin purkukojaan pystysuunnassa (kuvat 4, 5 ja 6). Pintavalutus kenttä 1 purkautuu viuhkamaisena kosteikkona useiden luonnon ojen kautta jokeen, joten toiselle YSI EXO2 -mittalaitteelle haettiin kosteikolta pääuoma, jossa vesi virtasi selvästi kohti jokea ja mittalaitte asennettiin vaakatasoon uoman pohjalle (kuvat 7, 8 ja 9). Oneset HOBO U24 -sensorit asennettiin jokeen kaivosvesien purkupisteiden ylä- ja alapuolelle (kuvat 2 ja 3). Kaivoksen yläpuolella olevan sensorin tarkoituksena oli seurata Seurujoen luonnollista sähkönjohtavuuden vaihtelua ja tuottaa tausta-aineistoa muille jatkuvatoimisille mittalaitteille. Sensorin paikka valittiin kauas kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien purkupisteestä, etteivät kaivosvedet voineet vaikuttaa sen mittaustuloksiin. Matkaa pohjoisessa sijainneelta Hobo1 -sensorilta prosessivesien purkupisteeseen oli jokea pitkin noin 6 km. Kaivoksen alapuolella olevan sensorin tarkoituksena oli seurata kaivosvesien vaikutuksen kantavuutta. Alapuolella sijainnut Hobo2 -sensori oli noin 10,5 km päässä käsiteltyjen prosessivesien purkupisteestä ja noin 9 km päässä käsiteltyjen kuivatusvesien purkupisteestä.

Kaikkien jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittausväliksi valittiin 15 minuuttia eli mittalaitteet ottivat neljä tulosta tunnissa. Mittaus tapahtui aina tasatunnein sekä 15 minuuttia, 30 minuuttia ja 45 minuuttia yli tasatunnin.



KUVA 3. Onset HOB0 U24 Conductivity Logger -sensori asennettuna Seurujokeen kaivoksen alapuolelle, Hobo2.



KUVA 4. YSI EX02 -mittalaite asennettuna prosessivesien purkuojaan.



KUVA 5. YSI EXO2 -mittalaite asennettuna prosessivesien purkuojaan.



KUVA 6. YSI EXO2 -mittalaite asennettuna prosessivesien purkuojaan. Mittaussensorit sijaitsevat laitteen mustassa alaosassa.



KUVA 7. YSI EXO2 -mittalaite asennettuna kuivatusvesien purku-uomaan.



KUVA 8. YSI EXO2 -mittalaite asennettuna kuivatusvesien purku-uoman pohjalle.



KUVA 9. YSI EXO2 -mittalaite asennettuna kuivatusvesien purku-uoman pohjalle. Mittaussensorit sijaitsevat laitteen mustassa etuosassa.

4.2 Jatkuvat toimivien mittalaitteiden kalibrointi

YSI EXO2 -mittalaitteiden sensorit suositeltiin kalibroitavaksi kuukauden välein. Kalibrointi aiheutti kuitenkin käytännön haasteita, eikä onnistunut odotetusti. Elokuun 28. päivä tehty kalibrointi sekoitti sensorit niin, että kalibroinnin jälkeen mitatut tulokset olivat selvästi virheellisiä ja epäluotettavia ja ne on jätetty analysoimatta tässä työssä. Suunniteltu mittausjakso 18.6.–17.9.2014 lyheni siis muutamalla viikolla ja tulokset on analysoitu EXO2 -mittalaitteiden osalta mittausjaksolta 18.6.–28.8.2014. Oneset HOBO U24 Conductivity Logger -sensorit oli kalibroitu tehtaalla, eikä niitä tarvinnut kalibroida tutkimusjakson aikana. Sensorien keräämä data käytiin kuitenkin purkamassa 26.8.2014, tällöin sensorit jouduttiin nostamaan hetkeksi pois vedestä, mikä oli ilmeisesti sekoittanut sensorit ja vääristänyt 26.8.2014 jälkeen mitattuja tuloksia. Tämän takia Hobo-sensoreiden osalta on tässä opinnäytetyössä analysoitu ajanjakso 18.6.–26.8.2014.

Tutkimuksen aikana YSI EXO2 -mittalaitteet yritettiin kalibroida monipistekalibroinnilla ja sensorien kalibrointiin tarkoitetuilla kalibrointiliuksilla. Tämä osoittautui kuitenkin maastossa hyvin haasteelliseksi. Tutkimuksen jälkeen todettiin, että jatkossa YSI EXO2 -mittalaitteille kannattaa suorittaa maastossa nollapistekalibrointi. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mittaussensorit upotetaan tislattuun veteen ja mittalaitteesta käynnistetään nollan mittaus. Tällöin sensorit määrittävät itselleen

tislatusta vedestä tarvittaessa uuden nollapisteen, mikäli mittalaitteen nollapiste oli virheellinen. Näin suoritettu kalibrointi on hyvin yksinkertainen ja helppo toteuttaa maastossa.

4.3 Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulosten käsittely

YSI EXO2 -mittalaitteiden ja Onset HOB0 U24 Conductivity Logger -sensorien mittaustuloksia käsiteltiin MATLAB- ja Microsoft Office Excel-ohjelmistoilla. Jotta sähkönjohtavuusarvoja voitiin vertailla eri mittalaitteiden välillä, Onset HOB0 U24 Conductivity Logger -sensorien mittaamille sähkönjohtavuusarvoille tehtiin lämpötilakorjaus seuraavan kaavan 1 avulla

$$SpC = \frac{C}{1+0.020*(T-25)} \quad \text{Kaava 1}$$

Kaavassa

SpC on lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

C on sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

T on lämpötila ($^{\circ}\text{C}$).

Kyseisen kaavan käyttöön päädyttiin, koska tutkimuksessa käytetyn CastAway CTD -mittalaitteen ohjelmisto laskee lämpötilakorjatut sähkönjohtavuudet samalla kaavalla (SonTek 2012, 65). Näin ollen, myös Onset HOB0 U24 Conductivity Logger -sensorilla ja CastAway CTD -mittalaitteella saatuja lämpötilakorjattuja sähkönjohtavuuksia voitiin pitää menetelmän osalta vertailukelpoisina. Lisäksi YSI EXO2- ja Hobo-mittalaitteiden mittaustuloksista poistettiin selvästi epäluotettavat tulokset. Tällaisia olivat muun muassa elokuun kalibrointien jälkeen mitatut tulokset.

5 SEURUJOEN VEDEN SÄHKÖNJOHTAVUUDEN TARKASTELU

Jatkuvatoimisten mittausten lisäksi Seurujoen sähkönjohtavuutta mitattiin CastAway CTD- ja YSI Professional Plus -mittalaitteilla. Kaivosvesissä esiintyvät aineet ja yhdisteet nostavat vesien sähkönjohtavuutta, joten luonnonvesien sähkönjohtavuusarvoja mittaamalla voidaan seurata kaivosvesien sekoittumista ja laimenemista luonnonvesissä.

5.1 CastAway CTD -mittalaite ja mittausmenetelmä

Seurujoen sähkönjohtavuusarvoja mitattiin CastAway CTD -mittalaitteella veneestä, kanootista ja rannoilta käsin (kuva 10). Laite oli helposti mukana kannettava, kevyt ja pienikokoinen, joten se soveltui maastomittauksiin kokonsa puolesta erinomaisesti. Lisäksi laite oli yksinkertainen käyttää, joten mittausten tekeminen oli nopeaa. CastAway CTD mittasi veden painetta, lämpötilaa, sähkönjohtavuutta ja suolaisuutta. Näiden mittaustulosten lisäksi laite tallensi muistiinsa mittauksen ajankohdan ja mittauspaikan koordinaatit. Mittaukset voitiin suorittaa joko pistemittauksina tai sarjoina. Sarjamittausten ajatuksena oli ilmentää vedenlaatua ja vedenlaadun vaihtelua koko vesipatsaan syvyydeltä. Mittaussarja aloitettiin vedenpinnalta, jonka jälkeen laite laskettiin vesipatsaan pohjalle ja nostettiin takaisin pinnalle. Sarjan aikana laite teki vedenlaadun mittauksen 0,12 s välein eli tuotti viisi tulosta sekunnissa. CastAway CTD -mittalaite soveltui käytettäväksi 0,2–100 m syvien vesimassojen tutkimiseen. Alle 0,5 m syviin mittauspisteisiin suositeltiin pistemittausta, sillä vettä oli liian vähän luotettavan sarjan aikaan saamiseksi. Mittalaitetta ei voinut käyttää lainkaan alle 0,2 m syvissä vesissä. (SonTek 2012, 9.)



KUVA 10. CastAway CTD -mittalaite käytössä Seurujoella kesällä 2013. (Kuva: GTK, 2013.)

CastAway CTD -mittalaitteella sähkönjohtavuusmittauksia suoritettiin kerran kuukaudessa kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa 2014. Tällä menettelyllä pyrittiin selvittämään, miten sähkönjohtavuus vaihtelee Seurujoessa kuukausien välillä. Tärkeimpinä tutkimuskohteina pidettiin Seurujokea kaivosvesien purkupisteiden kohdalla sekä hieman purkupisteiden ylä- ja alapuolella, jotta kaivosvesien vaikutus sähkönjohtavuuteen voitiin havainnoida parhaiten.

Mittausten jälkeen tulokset purettiin CastAway CTD -mittalaitteesta laitteen omalla tietokoneohjelmalla. Ohjelma taulukoi tulokset ja sijoitti mittaukset karttapohjalle. Paineen, lämpötilan ja sähkönjohtavuuden avulla CastAway CTD laskee arvot myös lämpötilakorjatulle sähkönjohtavuudelle. Laskenta suoritettiin mittalaitteen ylös- ja alasvetojen painotetuista keskiarvoista. Sarjan yläpäässä painotettiin sähkönjohtavuuden arvoja alaspäin mennessä ja sarjan alapäässä taas sähkönjohtavuuden arvoja ylöspäin tullessa. Laskentaa tehdessä mittalaitteen ohjelmisto jätti huomiotta yksittäiset huomattavasti muista arvoista poikkeavat mittaustulokset, sillä se oletti nämä virheellisiksi mittauksiksi. Samoin mittalaite jätti laskennassa pienemmälle huomiolle arvot, jotka oli mitattu liian pienessä paineessa tai mittalaitteen ollessa liian hitaassa liikkeessä. Näin saatiin erotettua mittaustuloksia vääristävät jo vedenpinnalla sekä laitteen paikallaan ollessa tapahtuneet mittaukset. (SonTek 2012, 65, 70.)

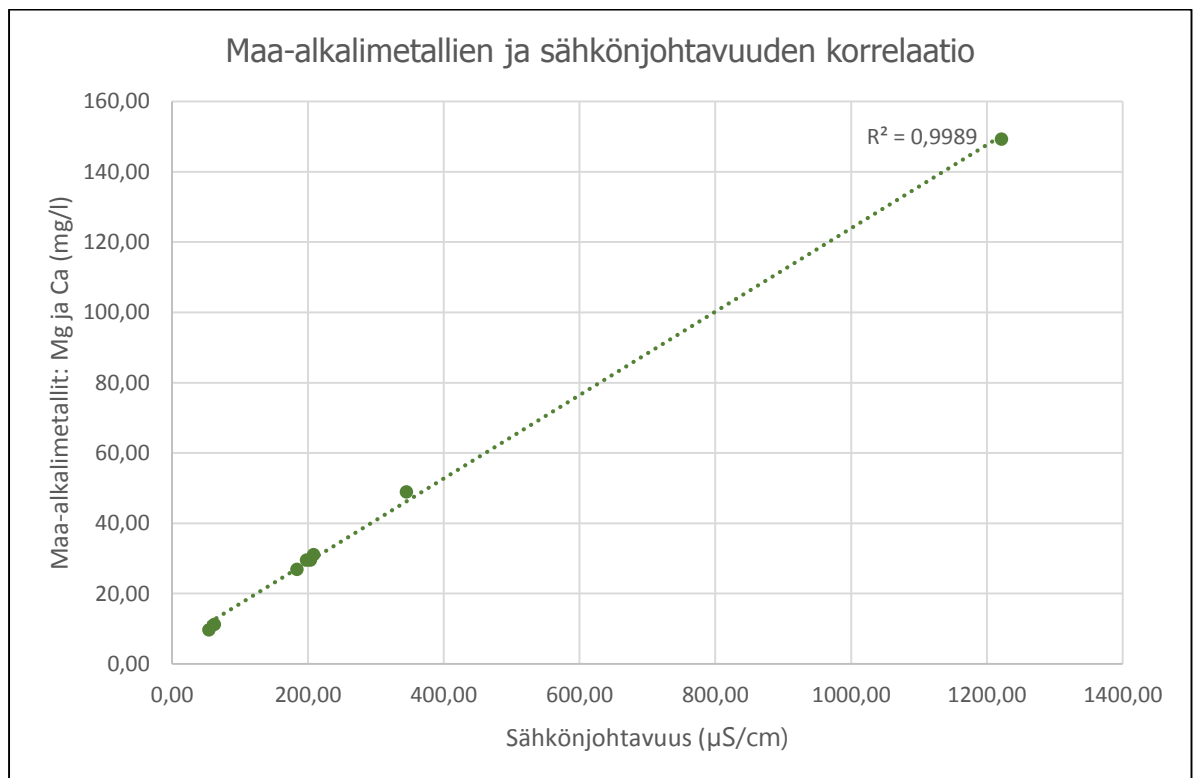
Koska CastAway CTD -mittalaitteella oli korkeat kriteerit hyväksyttävillä mittaustuloksilla, laite saattoi olettaa virheelliseksi myös todellisia arvoja. Tällöin laite mittasi sähkönjohtavuuden ja lämpötilan, mutta jätti saadut tulokset käsittelemättä, eikä siis laskenut mitatuille arvoille automaattisesti esimerkiksi lämpötilakorjattuja sähkönjohtavuusarvoja. Tästä syystä, mittaustuloksia käsiteltiin myös käsin MATLAB- ja Excel-ohjelmistoilla ja saatuja tuloksia verrattiin CastAway CTD -ohjelmiston automaattisesti käsittelemiin tuloksiin. Vertailussa tarkasteltiin CastAway CTD -mittalaitteen automaattisesti hylkäämiä arvoja ja poimittiin niistä tuloksiin arvot, joiden katsottiin tukevan muilla mittalaitteilla sekä vesianalyysillä saatuja tuloksia. Käytännössä tämä tarkoitti, että osalle laitteen hylkäämistä mittaustuloksista tehtiin sähkönjohtavuuden lämpötilakorjaukset käsin MATLAB- ja Excel-ohjelmistoilla, minkä jälkeen tulokset otettiin mukaan tarkasteltavien tulosten joukkoon. Lämpötilakorjausten tekoon käytettiin CastAway CTD -mittalaitteen käyttämää kaavaa, joka on esitelty tämän opinnäytetyön kappaleessa 4.3 Jatkuvat toimivien mittalaitteiden tulosten käsittely. Käsitellyt tulokset siirrettiin ArcGIS-ohjelmaan, jonka jälkeen mittauksista valittiin ne, jotka edustivat parhaiten kaivosvesien purkupisteiden sähkönjohtavuutta Seurujoessa. Tämän jälkeen valituista mittauksista piirrettiin MATLAB-ohjelmistolla työssä esitetyt sähkönjohtavuuden ja lämpötilan syvyysprofiilikuvat (kuvat 17–20 ja liitteet 9-19). ArcGIS-ohjelmalla luotiin myös sähkönjohtavuuskartat kaikkien CastAway CTD -mittausten tuloksista (liitteet 1-8).

Lisäksi tässä opinnäytetyössä vertailtiin CastAway CTD- ja YSI Professional Plus -mittauksia sekä vesinäytteistä tehtyjen laboratorioanalyysien tuloksia ja todettiin ne yhdenmukaisiksi. Tämän perusteella voitiin olettaa, että CastAway CTD -mittalaitteen antama laskennallinen lämpötilakorjattu sähkönjohtavuusarvo oli hyvin todenmukainen. Vertailua on esitelty tarkemmin kappaleessa 6.2 CastAway CTD -mittalaitteen luotettavuus ja käyttökelpoisuus sähkönjohtavuuden mittaamisessa.

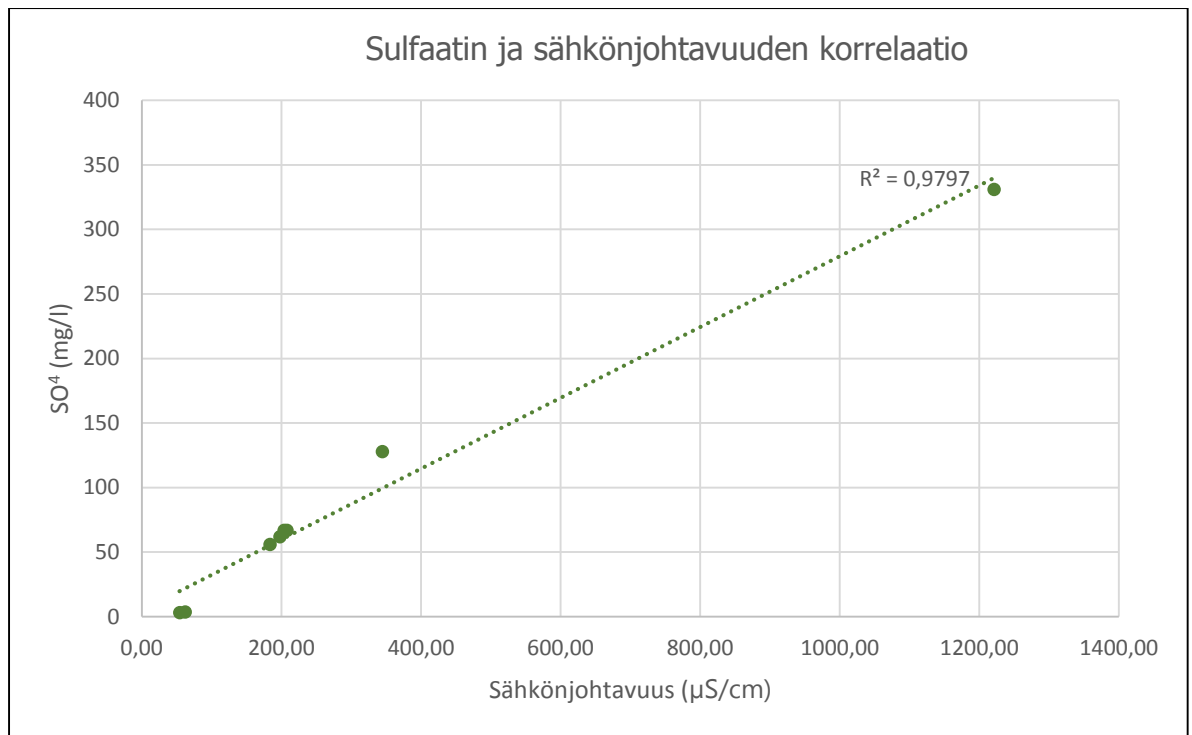
5.2 Kaivosvesien sähkönjohtavuuteen vaikuttavat aineet

Seurujoesta otettiin vesinäytteet kesä- ja elokuussa 2014. GTK:n ja Oulun yliopiston tutkimusten mukaan magnesium, kalsium, natrium, kalium ja sulfaatti eivät pidä pintavalutuskentille 1 ja 4, vaan huuhtoutuvat kaivosvesien mukana Seurujokeen (Backnäs 2015-04-10). Näiden tutkimusten valossa vesianalyyseistä päätettiin tutkia erityisesti yllä olevien metallien ja sulfaatin korrelointia Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa. Vesianalyyseistä kävikin ilmi että, sulfaatti ja alkali- sekä maa-alkalimetallit korreloivat hyvin selvästi Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa. Kesäkuun vesianalyysien perusteella tehdyt korrelaatiot on esitetty alla kuvioissa 3-6. Kuvioissa olevista korrelaatiokertoimista nähdään, että vesien sähkönjohtavuutta nostivat eniten maa-alkalimetallit magnesium ja kalsium. Näiden korrelaatiokerroin sähkönjohtavuuden kanssa oli 0,9989 (kuvio 3). Seuraavaksi sähkönjohtavuuteen vaikutti sulfaatti, jonka korrelaatiokerroin sähkönjohtavuuden kanssa oli 0,9797 (kuvio 4). Kolmanneksi eniten sähkönjohtavuuden kanssa korreloivat alkalimetallit natrium ja kalium, korrelaatiokertoimella 0,9964 (kuvio 5).

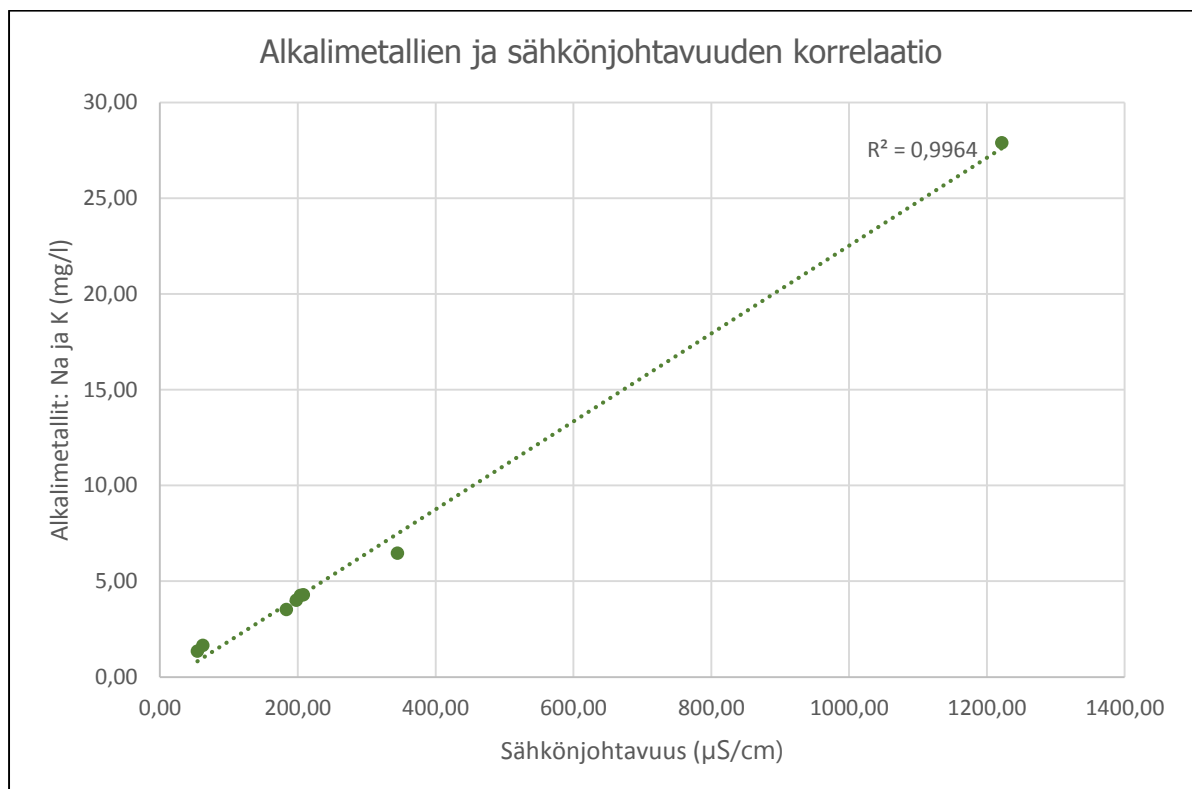
Alkali- ja maa-alkalimetallien yhteiskorrelaatio sähkönjohtavuuden kanssa oli 0,9996 (kuvio 6) eli selvimmin Seurujoen sähkönjohtavuutta nostivat kesäkuussa 2014 kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien sisältämät metallit: magnesium, kalsium, natrium ja kalium. Metalleista natrium, kalium ja kalsium olivat peräisin prosessi- ja kuivatusvesien käsittelyssä käytetyistä kemikaaleista. Magnesium ja sulfaatti päätyivät kaivosvesiin louhituista malmeista.



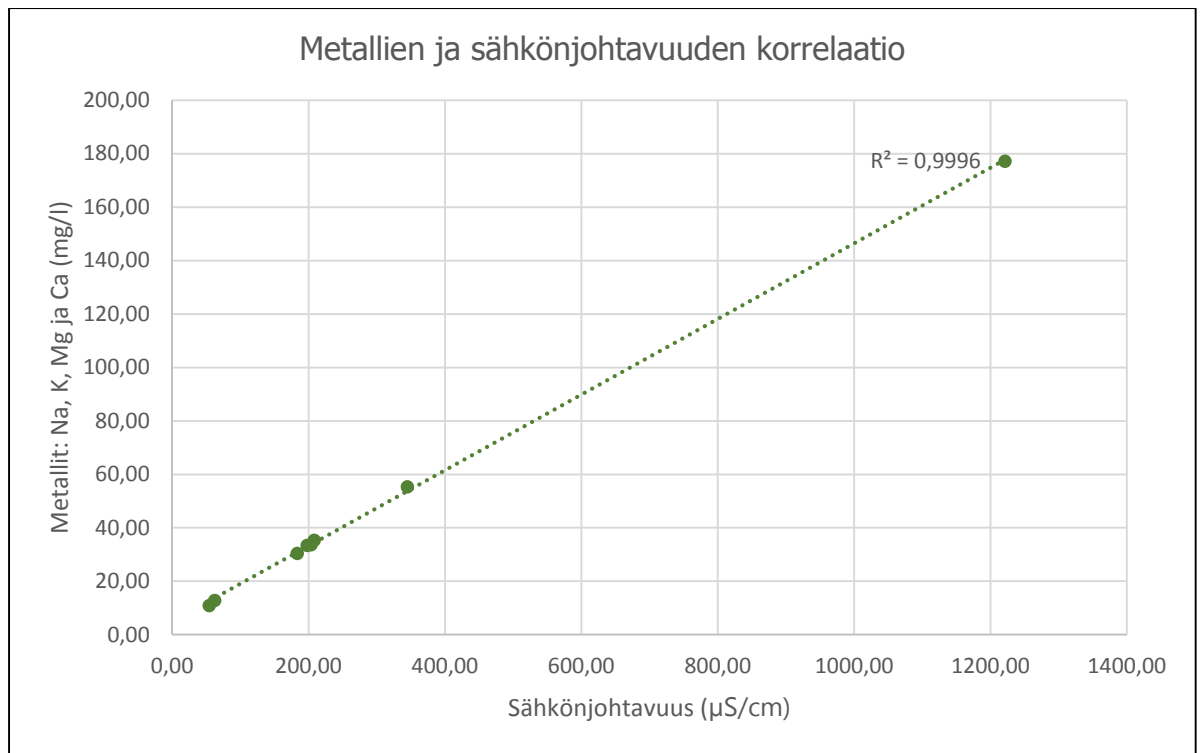
KUVIO 3. Vesinäytteiden maa-alkalimetallipitoisuuksien korrelointi Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa kesäkuussa 2014.



KUVIO 4. Vesinäytteiden sulfaattipitoisuuden korrelointi Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa kesäkuussa 2014.

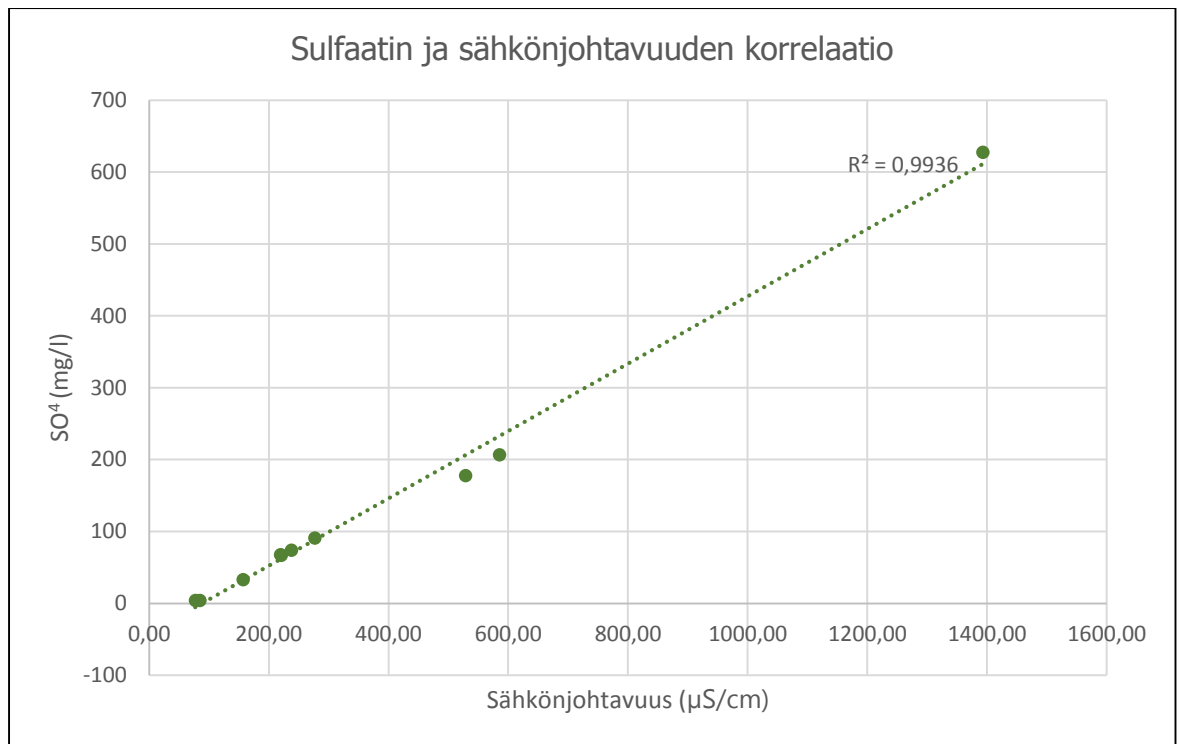


KUVIO 5. Vesinäytteiden alkalimetallien korrelointi Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa kesäkuussa 2014.

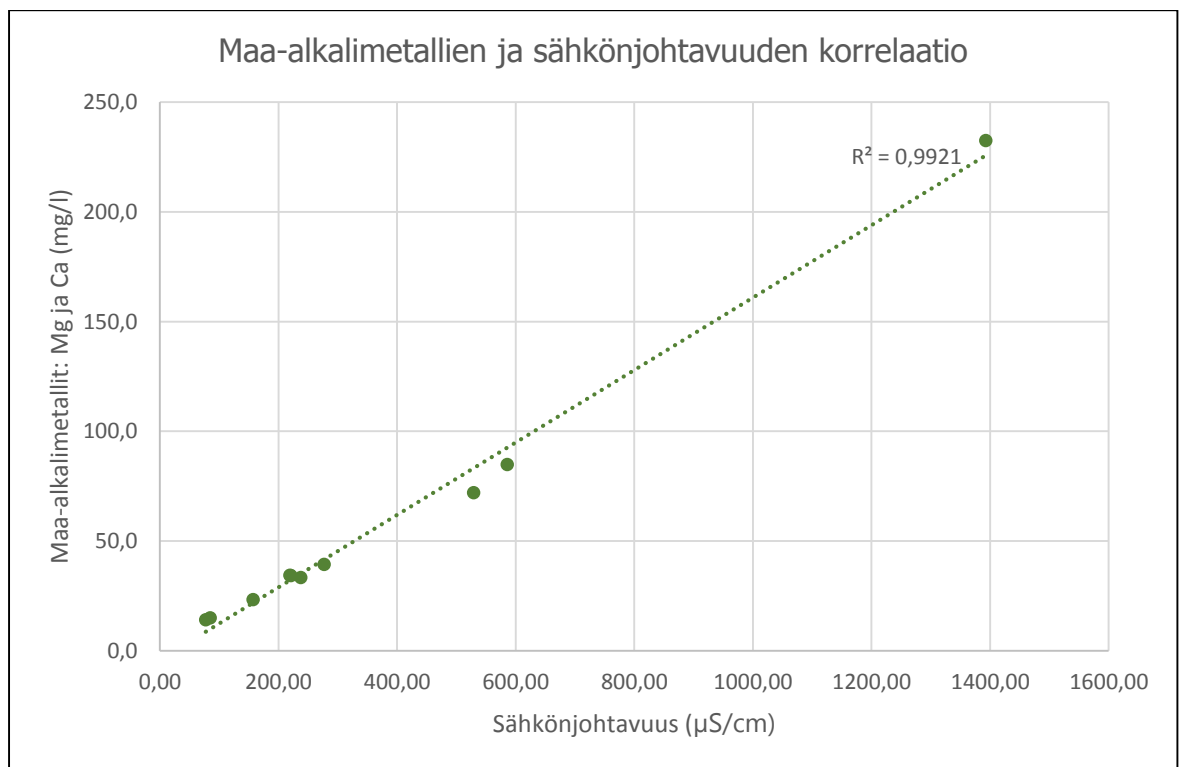


KUVIO 6. Vesinäytteiden alkali- ja maa-alkalimetallien yhteiskorrelaatio Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa kesäkuussa 2014.

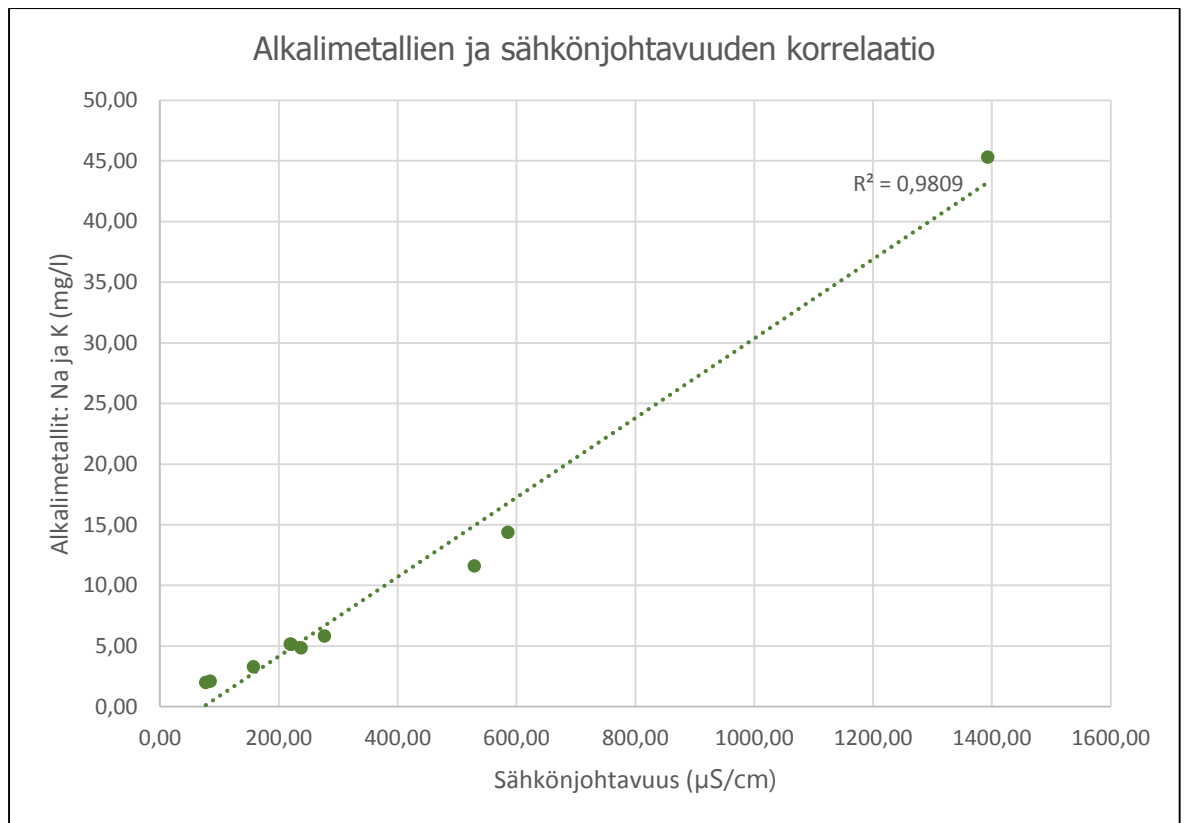
Seuraavissa kuvioissa 7-10 on esitetty elokuun 2014 vesianalyyseiden perusteella tehdyt korrelaatiot. Elokuussa Seurujoen sähkönjohtavuus korreloi parhaiten sulfaatin kanssa, korrelaatiokertoimella 0,9936 (kuvio 7). Toiseksi parhaiten sähkönjohtavuuden kanssa korreloivat maa-alkalimetallit, magnesiumum ja kalsium, kertoimella 0,9921 (kuvio 8) ja kolmanneksi parhaiten alkalimetallit, natrium ja kalium. Alkalimetallien ja sähkönjohtavuuden korrelaatiokerroin oli 0,9809 (kuvio 9). Elokuun vesinäytteissä alkali- ja maa-alkalimetallien yhteiskorrelaatio sähkönjohtavuuden kanssa oli 0,9906 (kuvio 10). Metallien yhteisvaikutus nosti siis sähkönjohtavuutta myös elokuussa eniten.



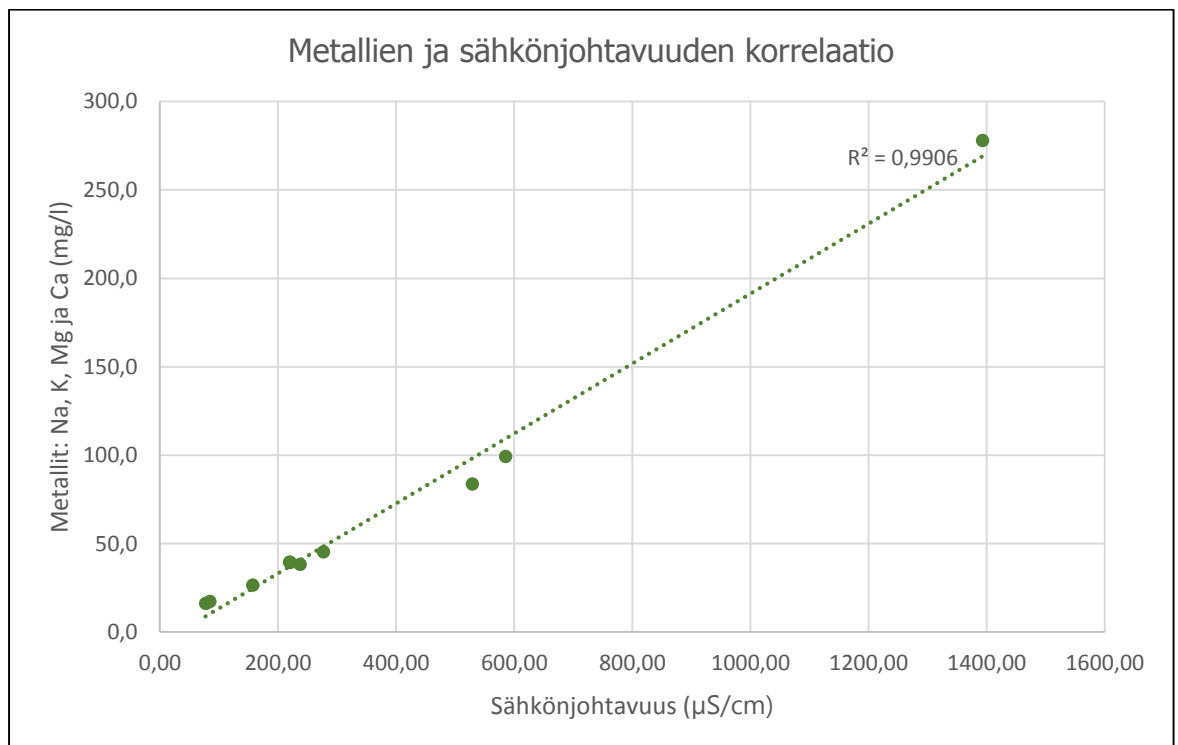
KUVIO 7. Vesinäytteiden sulfaatin korrelaatio Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa elokuussa 2014.



KUVIO 8. Vesinäytteiden maa-alkalimetallien korrelaatio Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa elokuussa 2014.



KUVIO 9. Vesinäytteiden alkalimetallien korrelaatio Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa elokuussa 2014.



KUVIO 10. Vesinäytteiden alkali- ja maa-alkalimetallien yhteiskorrelaatio Seurujoen sähkönjohtavuuden kanssa elokuussa 2014.

6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

6.1 Jatkuvatoinen monitorointi

6.1.1 Seurujoen jatkuvatoinen monitorointi

Jatkuvatoinen monitorointia suoritettiin Kittilän kaivoksella kesän 2014 aikana neljässä eri pisteessä, joista kaksi sijaitsi Seurujoessa (kuva 2). Hobo1 mittasi Seurujoen sähkönjohtavuusarvoja kaivoksen yläpuolella. Tämän sensorin tarkoituksena oli seurata Seurujoen sähkönjohtavuuden luontaista vaihtelua mittauskauden aikana. Alla olevasta taulukosta 6 ja kuviosta 11 nähdään, että Seurujoessa virtaavan veden luontainen lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus vaihteli 59–119 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Kaikkien Hobo1-sensorin mittaamien sähkönjohtavuusarvojen keskiarvo oli 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Korkeimmillaan sähkönjohtavuus oli 119 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 12.8.2014 ja alhaisimmillaan 59 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 22.6.2014. Veden lämpötila vaikuttaa sähkönjohtavuuteen oleellisesti. Kun veden lämpötila nousi, sähkönjohtokyky kasvoi. Tämä näkyi myös Hobo1:n mittaustuloksissa. Sähkönjohtavuus oli alhaisin kesäkuun puolella välillä, jolloin jokivesi oli 6,9 °C. Korkeimman sähkönjohtavuuden aikaan jokivesi oli 9,8 °C. Kuviosta 12 nähdään, että jokivesi oli lämpimintä (16,3 °C) heinäkuussa ja kylmintä (5,7 °C) kesäkuun 21. päivän aikaan. Jokiveden keskilämpötila koko mittausjaksolla kaivoksen yläpuolella oli 11,6 °C.

TAULUKKO 6. Seurujoen sähkönjohtavuus kaivoksen purkupisteiden yläpuolella kesä-, heinä- ja elokuussa 2014.

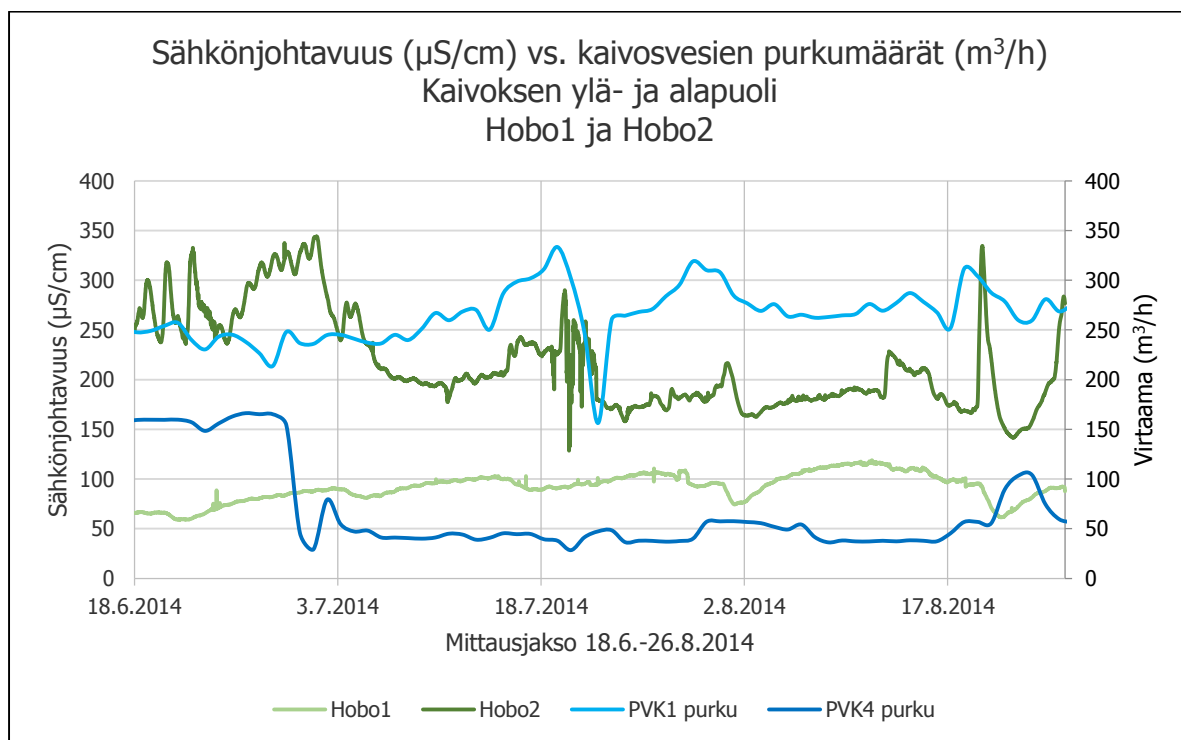
Kuukausi	Seurujoen sähkönjohtavuus, $\mu\text{S}/\text{cm}$ Hobo 1		
	Max	Min	Keskiarvo
Kesäkuu	89	59	72
Heinäkuu	111	81	95
Elokuu	119	61	97

Hobo2 -sensori mittasi Seurujoen sähkönjohtavuuksia kaivoksen alapuolella. Tarkoituksena oli seurata, kuinka kauas kaivosvedet kulkeutuvat Seurujoessa sekoittumatta tai laimenematta jokiveteen. Taulukosta 7 nähdään, että Seurujoen sähkönjohtavuus oli kaivoksen alapuolella korkeimmillaan 344 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 2.7.2014 ja alhaisimmillaan 128 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20.7.2014. Kaikkien mittausjakson aikana tehtyjen sähkönjohtavuusmittausten keskiarvo oli 217 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Taulukkoon 7 on koottu myös lämpötilakorjatun sähkönjohtavuuden kuukausikeskiarvoja, jotka vaihtelivat elokuun 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kesäkuun 282 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

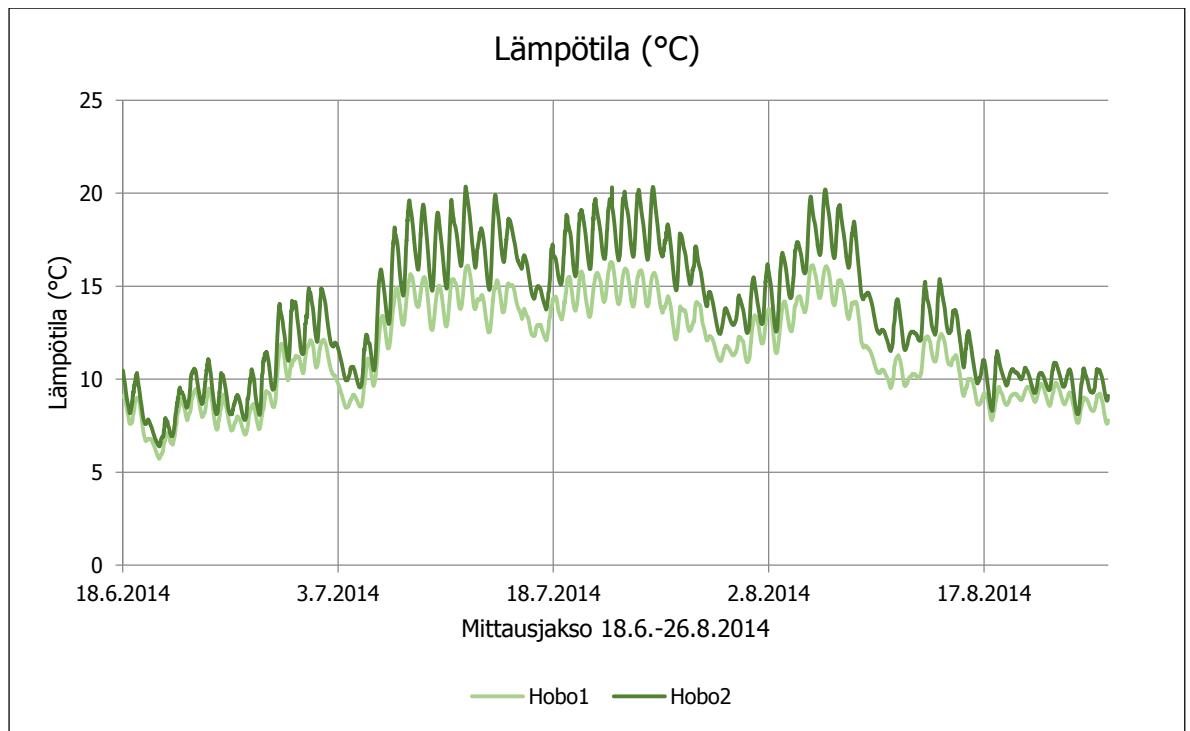
TAULUKKO 7. Seurujoen sähkönjohtavuus kaivoksen purkupisteiden alapuolella kesä-, heinä- ja elokuussa 2014.

Kuukausi	Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvo, $\mu\text{S}/\text{cm}$ Hobo 2		
	Max	Min	Keskiarvo
Kesäkuu	337	236	282
Heinäkuu	344	128	215
Elokuu	335	141	188

Kuviossa 11 on verrattu kaivoksen ylä- ja alapuolisia sähkönjohtavuusarvoja toisiinsa sekä kaivosvesien purkumääriin. Kuviossa 11 nähdään, että kaivoksen alapuolella sähkönjohtavuuden vaihtelut olivat kesän 2014 aikana suurempia kuin kaivoksen yläpuolella ja vaihtelua tapahtui enemmän. Lisäksi kaikkien mittausjakson aikana tehtyjen sähkönjohtavuuksien keskiarvo kaivoksen alapuolella oli yli kaksinkertainen kaivoksen yläpuoliseen vastaavaan arvoon nähden. Kaivoksen alapuolisen Hobo2-mittalaitteen sähkönjohtavuustulokset vaihtelivat enemmän siitä syystä, että sähkönjohtavuuteen vaikutti Seurujoen luontaisen taustan vaihteluiden ja alueelle sataneen veden lisäksi myös jokeen purettujen kaivosvesien määrä. Kaivosvesien vaikutus Seurujoen sähkönjohtavuuteen näkyy selvästi, kun verrataan Hobo1 ja Hobo2 -sensoreiden mittauksia kuviossa 11. Kun prosessivesien purku väheni heinäkuun alussa, myös sähkönjohtavuus kaivoksen alapuolella lähti laskuun. Kun kuivatusvesien purkumääriä nostettiin muun muassa 15.7., 26.7. ja 18.8., sähkönjohtavuus kaivoksen alapuolella alkoi taas nousta. Vesisateet näkyvät kuvion 11 Hobo1- ja Hobo2-käyrissä sähkönjohtavuuden alenemisena. Jokivesi oli kaivoksen alapuolella keskimäärin pari astetta yläpuolista mittauspistettä lämpimämpää (kuvio 12).



KUVIO 11. Seurujoen lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus kaivoksen ylä- ja alapuolisessa mittauspisteessä (Hobo1 ja Hobo2) ja kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien purkumäärät.



KUVIO 12. Seurujoen veden lämpötila kaivoksen ylä- ja alapuolisessa mittauspisteessä (Hobo1 ja Hobo2).

6.1.2 Kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien jatkuvatoiminen monitorointi

Kittilän kaivoksen käsiteltyjä prosessi- ja kuivatusvesiä seurattiin 18.6.–28.8.2014 kahdella YSI EXO2 -mittalaitteella, joiden mittaustuloksia on esitelty alla. Jatkuvatoimiset mittalaitteet seurasivat prosessi- ja kuivatusvesistä sähkönjohtavuutta, lämpötilaa, nitraattipitoisuutta, pH:ta, redox-potentiaalia ja liuenneen hapen pitoisuutta. Prosessivesillä tarkoitetaan pintavalutuskentältä 4 Seurujokeen purkautuvia, käsiteltyjä rikastusprosessin ylijäämävesiä ja kuivatusvesillä pintavalutuskentältä 1 Seurujokeen purkautuvia käsiteltyjä maanalaisesta kaivoksesta pumpattuja kuivatusvesiä.

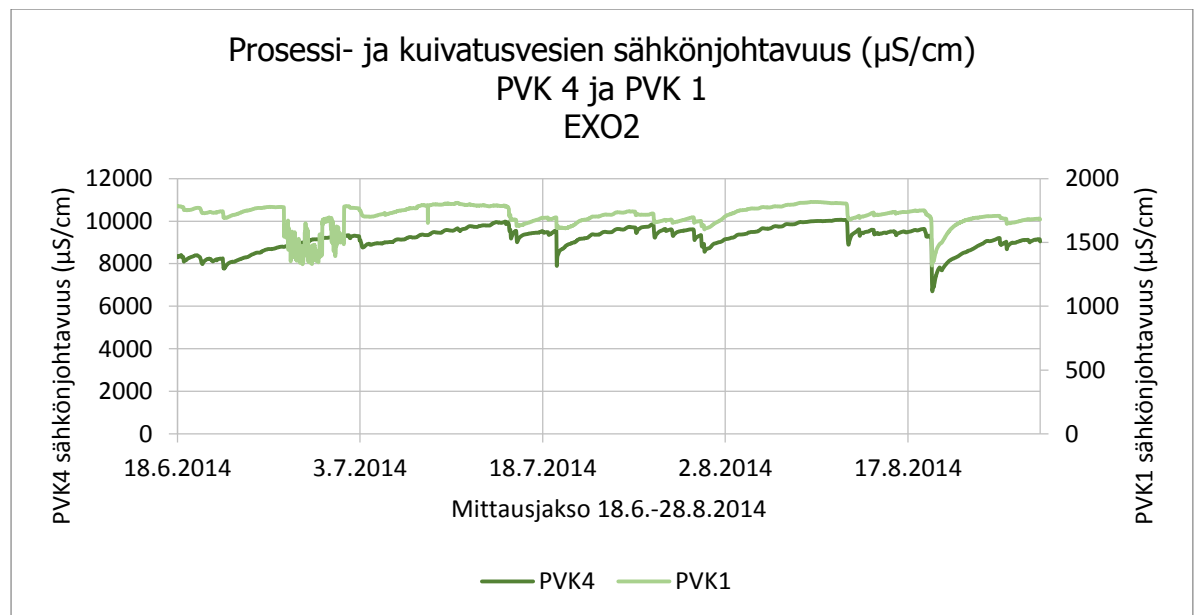
Lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus ja veden lämpötila

YSI EXO2 -mittalaitteiden mittaama lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus oli prosessivesissä keskimäärin $9\,200\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ja kuivatusvesissä $1708\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (taulukko 8). Korkeimmillaan prosessivesien sähkönjohtavuus oli 12.8.2014 $10067\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ja alhaisimmillaan 19.8.2014 $6699\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Kuivatusvesien sähkönjohtavuus oli korkeimmillaan $1817\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 10.8.2014 ja alhaisimmillaan $1319\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 19.8.2014. Prosessivedet olivat siis selvästi sähkönjohtokykyisempiä kuin kuivatusvedet. CastAway CTD -mittaukset kuitenkin osoittivat, että kuivatusvesien sekoittuminen ja laimeneminen Seurujokeen oli prosessivesiä hitaampaa, koska kuivatusvesiä puretaan Seurujokeen huomattavasti prosessivesiä enemmän.

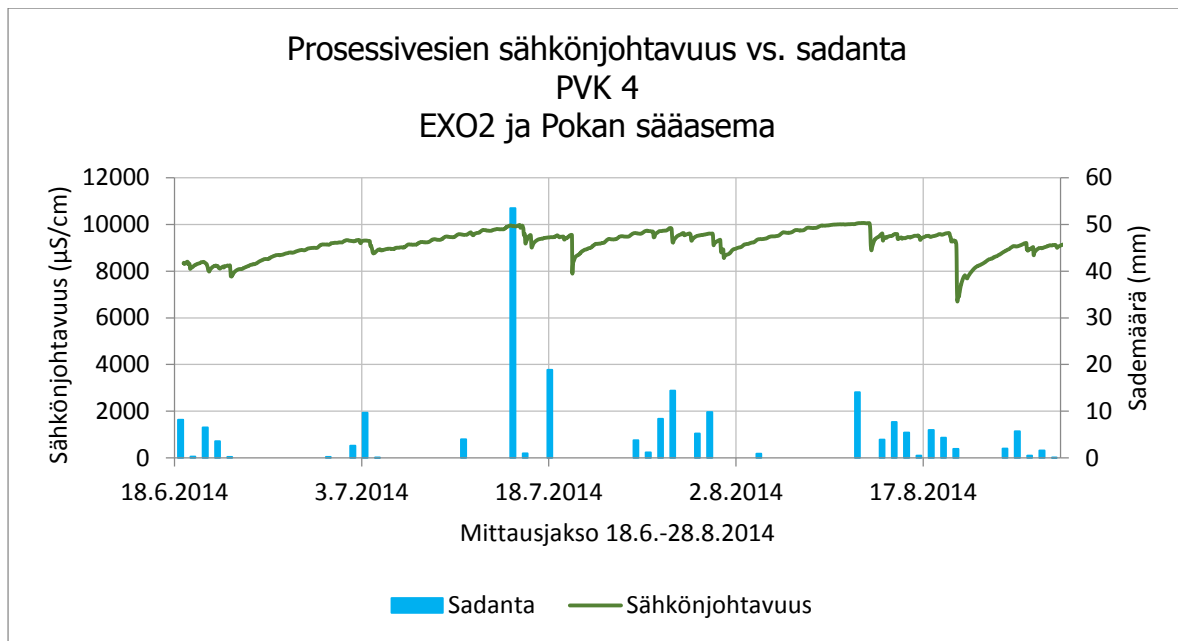
TAULUKKO 8. YSI EXO2 -mittareiden mitaamat sähkönjohtavuuden tunnusluvut kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesissä.

Mittauspiste	Lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	Max	Min	Keskiarvo
Prosessivesi	10 067	6 699	9 200
Kuivatusvesi	1 817	1 319	1 708

Alla olevaan kuvioon 13 on kuvattu Seurujokeen pintavalutuskentän 4 kautta purettujen prosessivesien ja pintavalutuskentän 1 kautta purettujen kuivatusvesien lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus. Kuvioista 13 nähdään, että prosessi- ja kuivatusvesien sähkönjohtavuus noudatti samaa käyrää ja pysyi kohtalaisen tasaisena mittausjakson ajan. Koska käyrät muuten ovat niin samanlaiset, oletetaan että kuivatusvesissä 27.6.–2.7.2014 tapahtuva sähkönjohtavuuden aleneminen ja voimakas vaihtelu ovat mittausvirheitä, samoin kuin 9.7.2014 mitattu yksi yksittäinen alhainen arvo. Kuvio 13 osoittaa myös, että kuivatus- ja prosessivesien sähkönjohtavuutta nostivat samat aineet ja suurimman vaihtelun aiheutti sadanta sekä lämpötila. Kuviossa 14 on kuvattu sadannan vaikutus pintavalutuskentältä 4 purettaviin prosessivesiin. Sadantatiedot on saatu ilmatieteenlaitoksen avoimesta metadatatista ja ne ovat Pokan sääaseman mitaamia. Kuvioista 14 nähdään, että alueelle satanut vesi laimensi purku-uomassa virtaavan veden sähkönjohtavuutta noin päivän viiveellä ja mitä pidempi oli sateen kesto, sitä voimakkaammin se alensi sähkönjohtavuutta. Koska pintavalutuskentät 4 ja 1 sijaittivat vierekkäin ja niihin vaikuttivat samat sääolosuhteet, kuvioita 13 ja 14 vertailemalla nähdään sadannan vaikutus myös kuivatusvesiin.

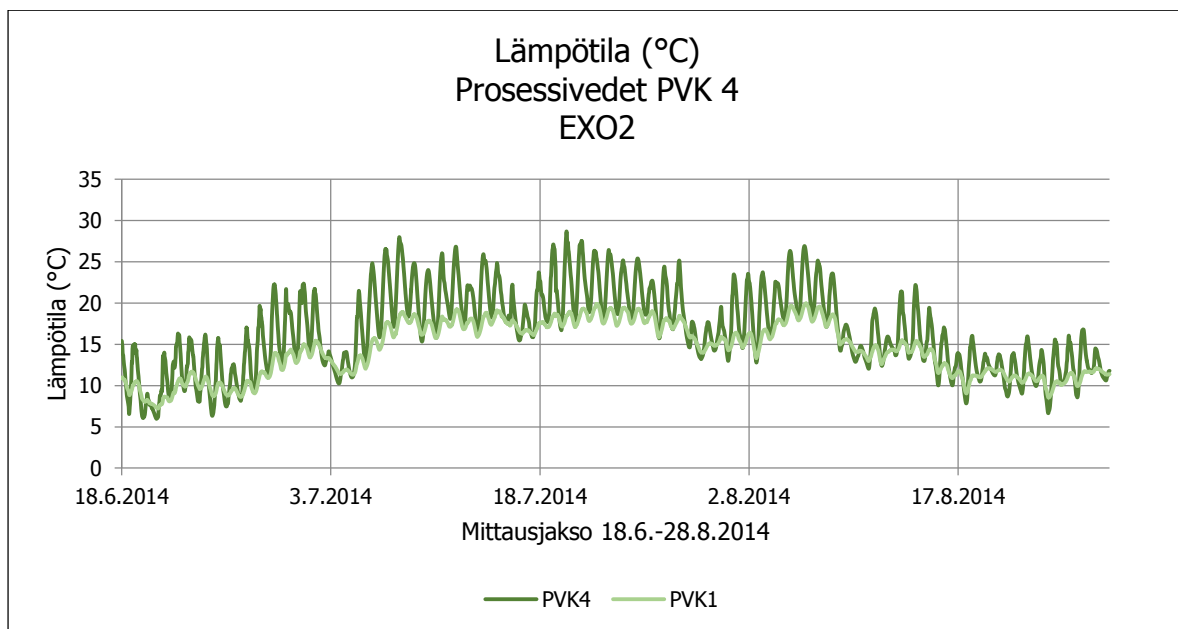


KUVIO 13. YSI EXO2 -mittalaitteiden monitoroima lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus kaivoksen kuivatus- ja prosessivesistä.



KUVIO 14. Sateen vaikutus prosessivesien YSI EXO2 -mittalaitteen mittaamaan sähkönjohtavuuteen. Sadantatiedot ovat ilmatieteenlaitoksen Pokan sääaseman avoimesta metadatatista.

Kuviossa 15 on esitetty prosessi- ja kuivatusvesien lämpötilavaihtelut. Kaivosvesien lämpötilat noudattivat mittausjakson aikana lähes samaa käyrää, mutta prosessivesissä tapahtui lyhyellä aikavälillä huomattavasti suurempaa lämpötilavaihtelua kuin kuivatusvesissä. Tämän oletetaan johtuvan prosessivesien pumppausycklistä.



KUVIO 15. YSI EXO2 -mittalaitteiden veden lämpötilan monitorointi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesissä.

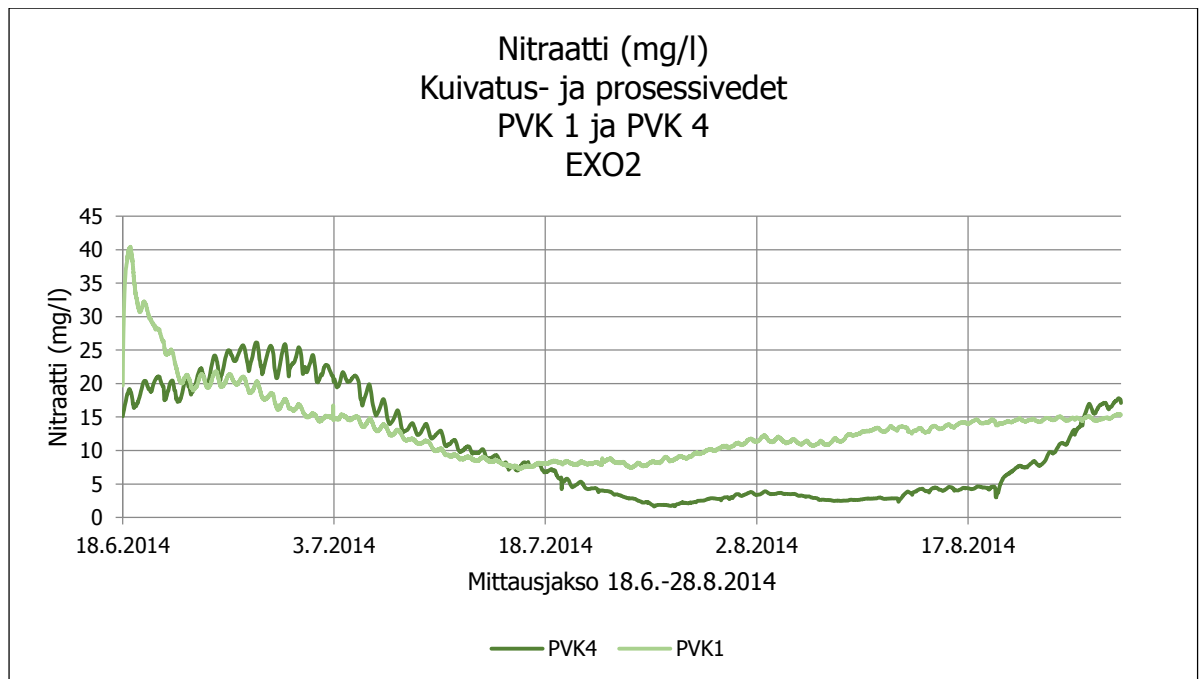
Nitraatti

Jatkuvatoimisten mittausten mukaan kuivatusvedet sisälsivät enemmän nitraattia kuin prosessivedet (taulukko 9). Kuivatusvesien korkein nitraattipitoisuus mitattiin 19.6.2014 40,4 mg/l ja alhaisin 16.7.2014 7,2 mg/l. Kuivatusvesien koko mittausjakson nitraattipitoisuuden keskiarvo oli 13,6 mg/l ja vastaava luku prosessivesissä oli 10,2 mg/l. Prosessivesien korkein nitraattipitoisuus oli 26,1 mg/l 28.6.2014 ja alhaisin 1,6 mg/l 26.7.2014. Nitraattipitoisuus oli sekä prosessi- että kuivatusvesissä korkein mittausjakson alkupäässä, laski heinäkuussa ja nousi jälleen mittausjakson loppua kohden (kuvio 16). Kesäkuussa prosessivesiä purettiin huomattavasti heinä- ja elokuuta enemmän, mikä selitti sen, että prosessivesien pitoisuushuiput osuivat kesäkuulle. Lisäksi nitraattipitoisuuteen vaikuttivat veden lämpötila, sadanta ja nitraattibakteerien biologinen toiminta. Kesäkuussa ilman lämpötila vaihteli paljon, päivät olivat lämpimiä, mutta yöt välillä jopa pakkasella, mikä vaikutti bakteerien toimintaan ja aiheutti mahdollisesti kesäkuun nitraattipitoisuuksien voimakkaan vuorokausivaihtelun sekä prosessi- että kuivatusvesiin.

Laboratoriossa tehtyjen vesianalyysien perusteella nitraattipitoisuus prosessivesissä oli kesäkuun vesinäytteessä 43 mg/l ja kuivatusvesissä 5,1 mg/l. Elokuun vesinäytteissä prosessiveden nitraattipitoisuus oli 30 mg/l ja kuivatusveden 31 mg/l. Kesäkuussa vesinäytteet oli otettu juuri ennen jatkuvatoimisten mittalaitteiden asentamista ja mittausten aloittamista. Kesäkuun tuloksia ei siis voi luotettavasti verrata mittalaitteiden tuloksiin, mutta elokuun YSI EXO2 -mittalaitteiden ja vesianalyysien tuloksissa nähdään pientä eroavaisuutta. YSI EXO2 -mittalaitteessa ollut nitraattisensori oli tarkoitettu kaivosvesiä puhtaampien vesien nitraattipitoisuuden seurantaan, joten vaikka mitatut pitoisuudet osuivat sensorin mittausvälille, 0-200 mg/l, erot saattoivat johtua siitä, ettei sensori ollut aivan tarkoitukseen soveltuva.

TAULUKKO 9. YSI EXO2 -mittalaitteiden mitaamat nitraattipitoisuuden tunnusluvut kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesissä.

Mittauspiste	Nitraatti NO ₃ -N, mg/l		
	Max	Min	Keskiarvo
Prosessivesi	26,1	1,6	10,2
Kuivatusvesi	40,4	7,2	13,6



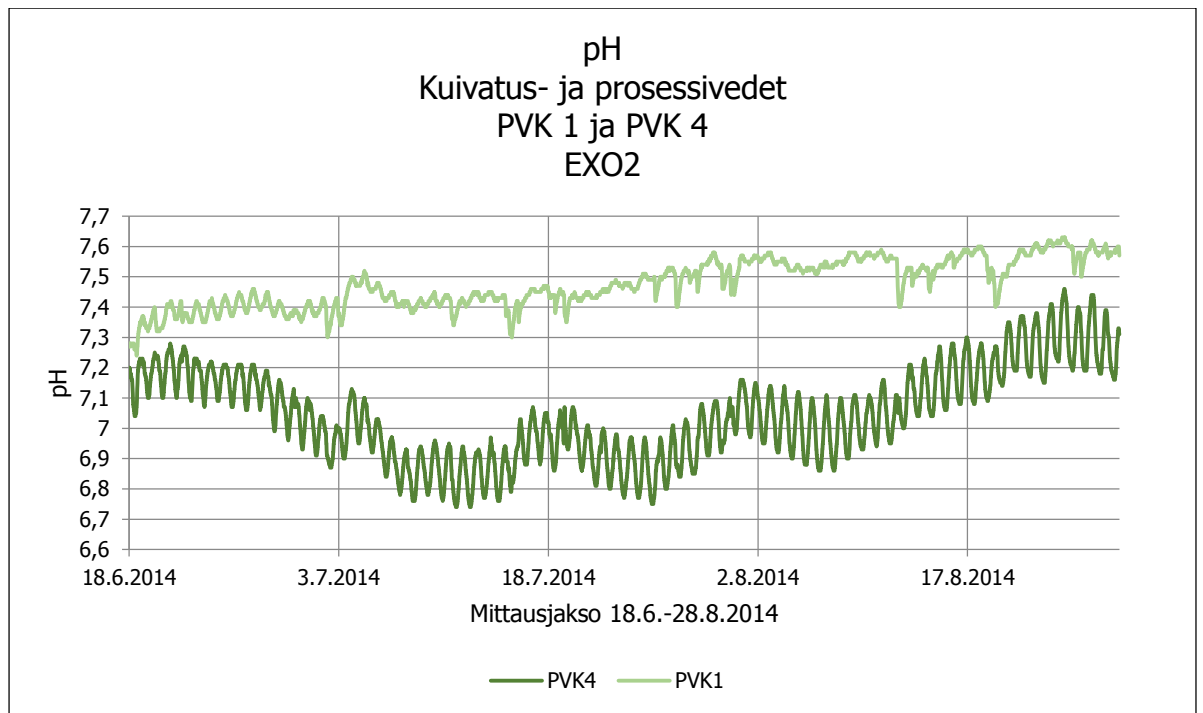
KUVIO 16. YSI EXO2 -mittalaitteiden nitraattipitoisuuden monitorointi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesissä.

pH

Alla olevista taulukosta 10 ja kuviosta 17 nähdään, että pH oli noin 7 lähes koko mittausjakson ajan sekä prosessi- että kuivatusvesissä. Tämä oli odotettu tulos, koska kaivoksen ympäristölupa määrittää, että pintavalutuskentille johdettavien prosessi- ja kuivatusvesien pH on oltava 6-10 (Aluehallintovirasto 2010, 30). Mittausjakson keskiarvot pH:ssa olivat prosessivedessä 7,0 ja kuivatusvedessä hieman korkeampi 7,5. Prosessiveden pH kävi pitkän kesän välillä alle 7, ollen alhaisimmillaan 6,7 13.7.2014. Korkein pH prosessivedestä mitattiin 29.8.2014 7,5. Kuivatusvesien pH oli korkeimmillaan 7,6 24.8.2014 ja alhaisimmillaan 7,2 19.6.2014.

TAULUKKO 10. YSI EXO2 -mittalaitteiden mitaamat pH:n tunnusluvut kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesissä.

Mittauspiste	pH		
	Max	Min	Keskiarvo
Prosessivesi	7,5	6,7	7,0
Kuivatusvesi	7,6	7,2	7,5

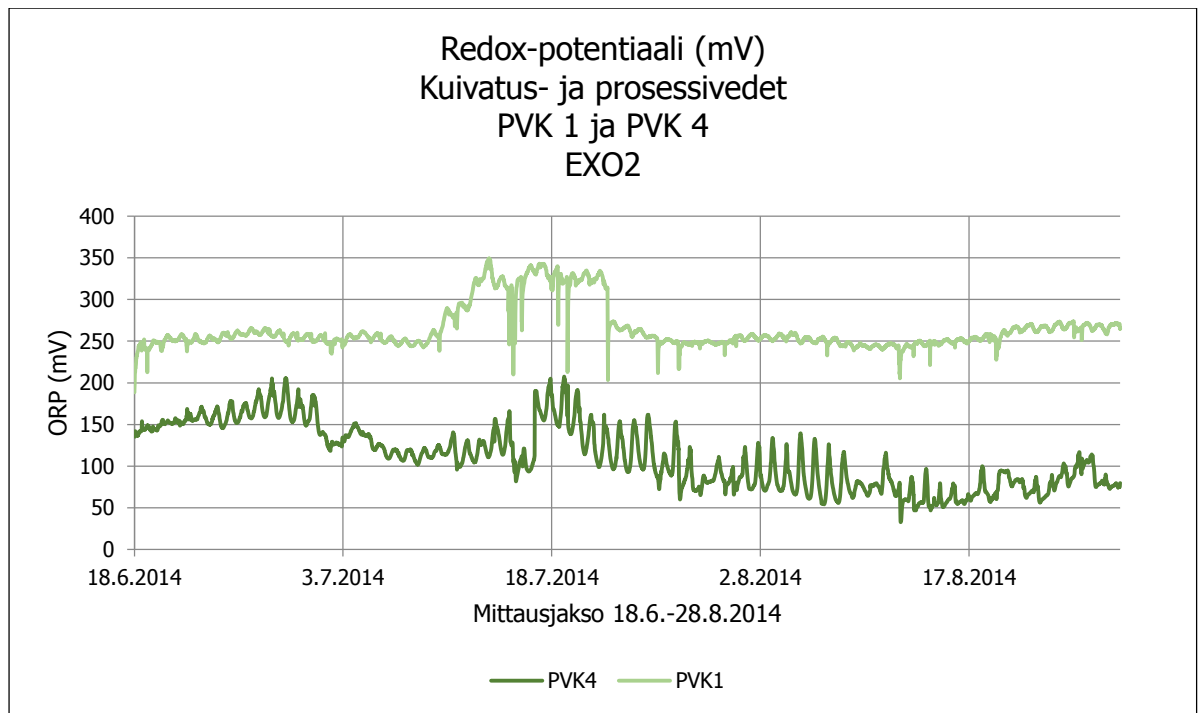


KUVIO 17. YSI EXO2 -mittalaitteiden pH-monitorointi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesistä.

Redox-potentiaali

YSI EXO2 -mittalaitteella mitattu prosessivesien hapetus-pelkistys-potentiaali eli redox-potentiaali oli koko mittausjakson ajan 180–350 mV (kuvio 18). Potentiaalissa nähdään nousu 10.–28.7.2014 sekä pientä kipuamista 28.8.2014 lähtien, muutoin potentiaali oli kesän aikana noin 250 mV. Kuivatusvesissä redox-potentiaalin vaihtelu oli hieman prosessivesiä suurempaa. Kuivatusvesien potentiaali vaihteli noin 30–220 mV (kuvio 18). Heinäkuun loppupuolelle asti kuivatusvesien potentiaali vaihteli 100–200 mV ja putosi loppukesäksi noin 50–100 mV.

Johanna Päckilä kirjoittaa diplomityössään Pintavalutus arseenin ja typen poistossa Suurikuusikon kultakaivoksen valumavesistä (2008, 27–28), että pelkistävässä oloissa aineet ovat liukoisemmissa muodoissa eivätkä sitoudu niin helposti kuin hapettavissa oloissa. Samalla Päckilä toteaa, että kaivosvesien redox-potentiaali vaihtelee yleensä 600–700 mV ennen pintavalutuskenttien läpi kulkemista ja vastaavasti suo-vesien redox-potentiaali on noin 100–100 mV. Evangelou listaa kirjassaan *Environmental soil and water chemistry* (1998, 258), että vedellä kyllästynyt maaperä on heikosti hapettava, jos sen redox-potentiaali on noin 100 mV ja hyvin hapettava, jos redox-potentiaali on noin 500 mV. Jatkuvatoimisten mittausten mukaan Kittilän kaivoksen kaivosvedet, erityisesti kuivatusvedet, olivat siis heikosti hapettavia siinä vaiheessa, kun ne purkautuivat pintavalutuskentiltä Seurujokeen. Tällaiset redox-potentiaalinarvot ovat tyypillisiä pintavalutuskenttien läpi puretuille kaivosvesille. Jatkuvatoimisten mittausten perusteella prosessivesissä tapahtui enemmän hapettumista kuin kuivatusvesissä, mutta molemmat olivat enemmän hapettavia kuin pelkistäviä vesiä. Molemmissa vesissä potentiaali hapettumiselle oli suurin heinäkuun puolessa välissä.

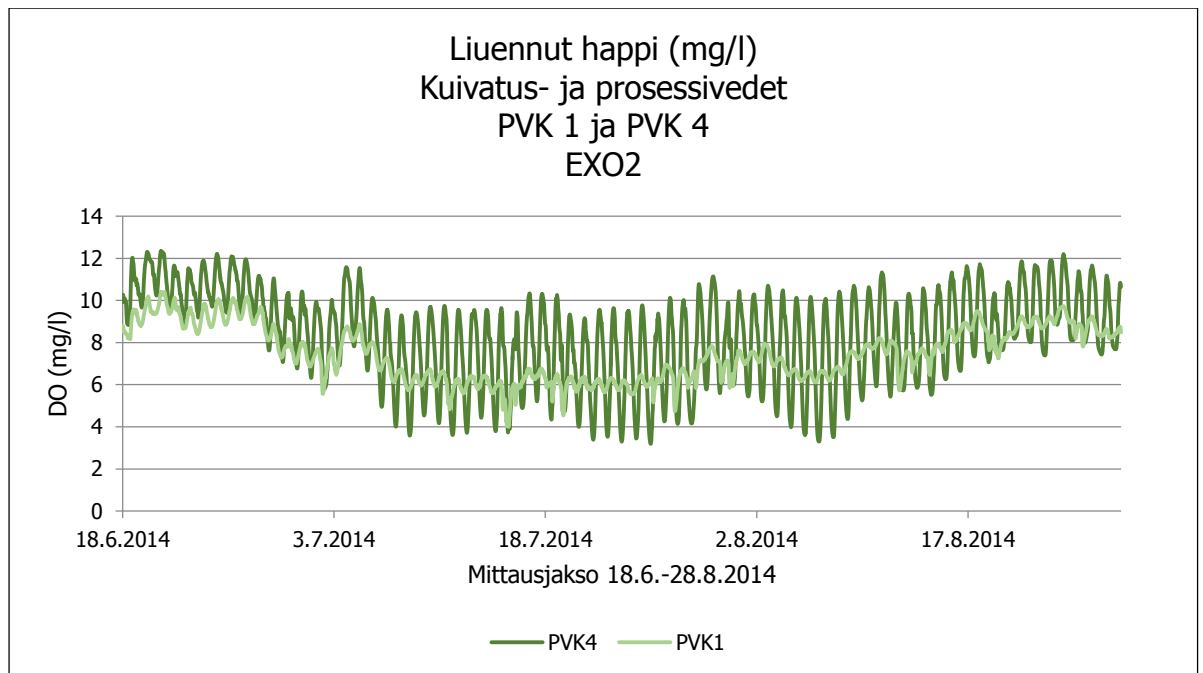


KUVIO 18. YSI EXO2 -mittalaitteiden redox-potentiaalin monitorointi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesistä.

Liuenut happi

YSI EXO2 -mittalaitteella seurattiin myös kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien liuennun hapen määrää 18.6.–28.8.2014 ja kaivosvesistä jatkuvatoimisesti mitatut liuennun hapen pitoisuudet on esitetty alla kuviossa 19. Kuvioista 19 käy ilmi, että prosessivesissä liuennutta happea oli alhaisimmillaan 3,6 mg/l 26.7.2014 ja korkeimmillaan 12,4 mg/l 21.6.2014. Prosessivesissä liuennun hapen pitoisuus vaihteli huomattavasti kuivatusvesien vastaavaa pitoisuutta enemmän. Kuivatusvesissä liuennutta happea oli alhaisimmillaan 4,0 mg/l 15.7.2014 ja korkeimmillaan 9,9 mg/l 27.6.2014. Kittilän prosessi- ja kuivatusvedet sisältävät siis liuennutta happea.

Mikäli happea ei esiinny kaivosvesissä, mahdolliset haitta-aineet liukenevat vesiin helpommin, eivät pidäty pintavalutuskentille ja huuhtoutuvat purettavien kaivosvesien mukana ympäristöön. Tämän takia liuennun hapen läsnäolo on hyvin tärkeää kaivosvesien käsittelyssä. Liuennun hapen pitoisuus oli alhaisin 8.7.–15.8.2014 sekä prosessi- että kuivatusvesissä eli tällöin haitta-aineiden sitoutuminen pintavalutuskentille 1 ja 4 oli hapen kannalta heikointa (kuvio 19).



KUVIO 19. YSI EXO2 -mittalaitteiden liuenneen hapen monitorointi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesistä.

6.2 CastAway CTD -mittalaitteen luotettavuus ja käyttökelpoisuus sähköjohtavuuden mittaamisessa

CastAway CTD -mittalaite on kehitetty erityisesti merien ja järvien eli stabiilien vesimassojen sähköjohtavuuden mittaamiseen. Laitteen käyttöohjeessa suositellaan mittalaitteen lasku- ja nostonopeudeksi mittauksen aikana noin 1 m/s. Kyseisen nopeuden käyttö ja yli 0,5-metrinen, stabiili vesipatsas lisäävät tulosten luotettavuutta sekä laitevalmistajan että tässä opinnäytetyössä tehtyjen tutkimusten perusteella.

Tutkimuskohteena ollut Seurujoki oli keskimäärin noin 0,6 m syvä ja paikoitellen syvyyttä oli vain 0,2 m. Seurujoen mataluus vaikutti oleellisesti CastAway CTD -laitteen käyttöön ja lasku- sekä nostonopeuteen, sillä syvimmissäkään kohdissa jokea mittalaitetta ei voitu laskea tai nostaa 1 m/s-nopeudella. Lisäksi tutkittava vesi oli jatkuvassa virtausliikkeessä. Matalimmissa ja voimakkaimmin virtaavimmissa kohdissa Seurujokea CastAway CTD -mittalaitteella ei pystytty tekemään sarjamittauksia lainkaan, sillä vettä oli yksinkertaisesti liian vähän tai se virtasi liian kovaa luotettavan sarjan saamiseksi. Sähköjohtavuus pystyttiin kuitenkin mittaamaan tällaisista kohdista laitteen pistemittausominaisuudella.

CastAway CTD -mittalaitteella saatuja sähköjohtavuusarvoja verrattiin YSI Professional Plus -laitteella tehtyihin mittauksiin. Tutkijat ovat käyttäneet YSI Professional Plus -laitetta vesien sähköjohtavuuden määrittämiseen useiden vuosien ajan ja laitteen antamia sähköjohtavuustuloksia pidetään kansainvälisesti ja tutkimusalasta riippumatta luotettavina.

Joen mataluudesta ja veden paikoitellen voimakkaasta virtauksesta huolimatta, CastAway CTD -mittalaitteella saadut tulokset osoittautuivat hyvin vertailukelpoisiksi (taulukko 11). Taulukossa 11 esiintyvät heitot, esimerkiksi näytenäytteiden 4, 5, 10 ja 11 kohdalla, johtuvat siitä, että CastAway

CTD ja YSI Professional Plus -mittauksia ei ole tehty tarkalleen samasta pisteestä. Ne mittaukset, jotka on tehty eri mittalaitteilla aivan samasta pisteestä antavat 5 yksikön tarkkuudella saman sähkönjohtavuusarvon. Mitä suurempi sähkönjohtavuusarvojen ero on, sitä kauempana mittauspisteet ovat todellisuudessa olleet toisistaan. Pisteet on kuitenkin valittu niin, että ne sijaitsivat aina korkeintaan 5 m päässä toisistaan.

TAULUKKO 11. CastAway CTD- ja YSI Professional Plus -mittalaitteilla mitattujen sähkönjohtavuusarvojen vertailu.

Näytepiste	YSI CastAway CTD, sähkönjohtavuus, $\mu\text{S}/\text{cm}$	YSI Professional, sähkönjohtavuus, $\mu\text{S}/\text{cm}$
1	54	54
2	59	62
3	213	198
4	6268	8111
5	1184	1221
6	221	208
7	79	77
8	84	85
9	282	277
10	310	529
11	287	220

6.3 Seurujen sähkönjohtavuus

Jatkuvatoimisen seurannan lisäksi Seurujen sähkönjohtavuutta mitattiin tässä opinnäytetyössä CastAway CTD -mittalaitteella. Mittauksia tehtiin kerran kuukaudessa kesäkuusta syyskuuhun 2014. Prosessi- ja kuivatusvesien purkupisteistä sekä kaivoksen ylä- ja alapuolelta saatuja tuloksia on esitelty alla sekä taulukoina että kuvioina. Lisäksi kaikista mittauksista on piirretty sähkönjohtavuuskartat, jotka löytyvät työn liitteistä (liitteet 1-8).

Taulukosta 12 nähdään, että Seurujen luontainen sähkönjohtavuus ennen kaivosvesien purkupisteitä vaihteli mittausjakson aikana kesäkuun 54 $\mu\text{S}/\text{cm}$ syyskuun 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Heinäkuussa jokiveden sähkönjohtavuus ennen kaivosvesien purkupisteitä oli 86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja elokuussa 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Alla olevasta taulukosta 12 nähdään myös, miten käsiteltyjä prosessivesiä purkava pintavalutuskenttä 4 vaikutti Seurujen sähkönjohtavuuteen ja miten sähkönjohtavuus vaihteli joessa eri kuukausien välillä. Tutkimukset osoittivat, että kaivoksen prosessivedet nostivat Seurujen sähkönjohtavuutta. Sähkönjohtavuusarvot olivat aina korkeimmat purkupisteiden kohdalla ja pysyttelivät purkupisteiden jälkeenkin korkeampina kuin mitä olivat ennen purkupistettä. Prosessivesien vaikutuksen näkee selvästi myös liitteenä olevista sähkönjohtavuuskartoista (liitteet 1-8). Seurujen sähkönjohtavuus kaivoksen yläpuolella oli kaikista matalin kesäkuun mittauspäivänä, noin 54 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sen sijaan, prosessivesien purkupisteiden kohdalla kesäkuussa mitattiin kaikista korkein sähkönjohtavuus, 3894 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Purkupisteiden korkeasta arvosta huolimatta, sähkönjohtavuus tasoittui ja prosessivedet sekoittuivat Seurujen kohtalaisen nopeasti, sillä heti purkupisteiden alapuolella sähkönjohtavuus oli enää keski-

määrin 181 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Heinäkuussa 2014 Seurujoen sähkönjohtavuus kaivoksen yläpuolella oli kesäkuuta korkeampi, 86 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mutta purkupisteen kohdalla huomattavasti kesäkuun vastaavaa arvoa matalampi, 1191 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Näin ollen, sähkönjohtavuus purkupisteen jälkeen oli myös kesäkuuta alhaisempi, 141 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elokuussa 2014 Seurujoen sähkönjohtavuuden tausta-arvo oli suunnilleen samoissa lukemissa kuin heinäkuussa, mutta purkupisteestä mitattiin heinäkuuta korkeampi sähkönjohtavuus, 1580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, syyskuussa tämä arvo putosi jopa tasolle 856 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

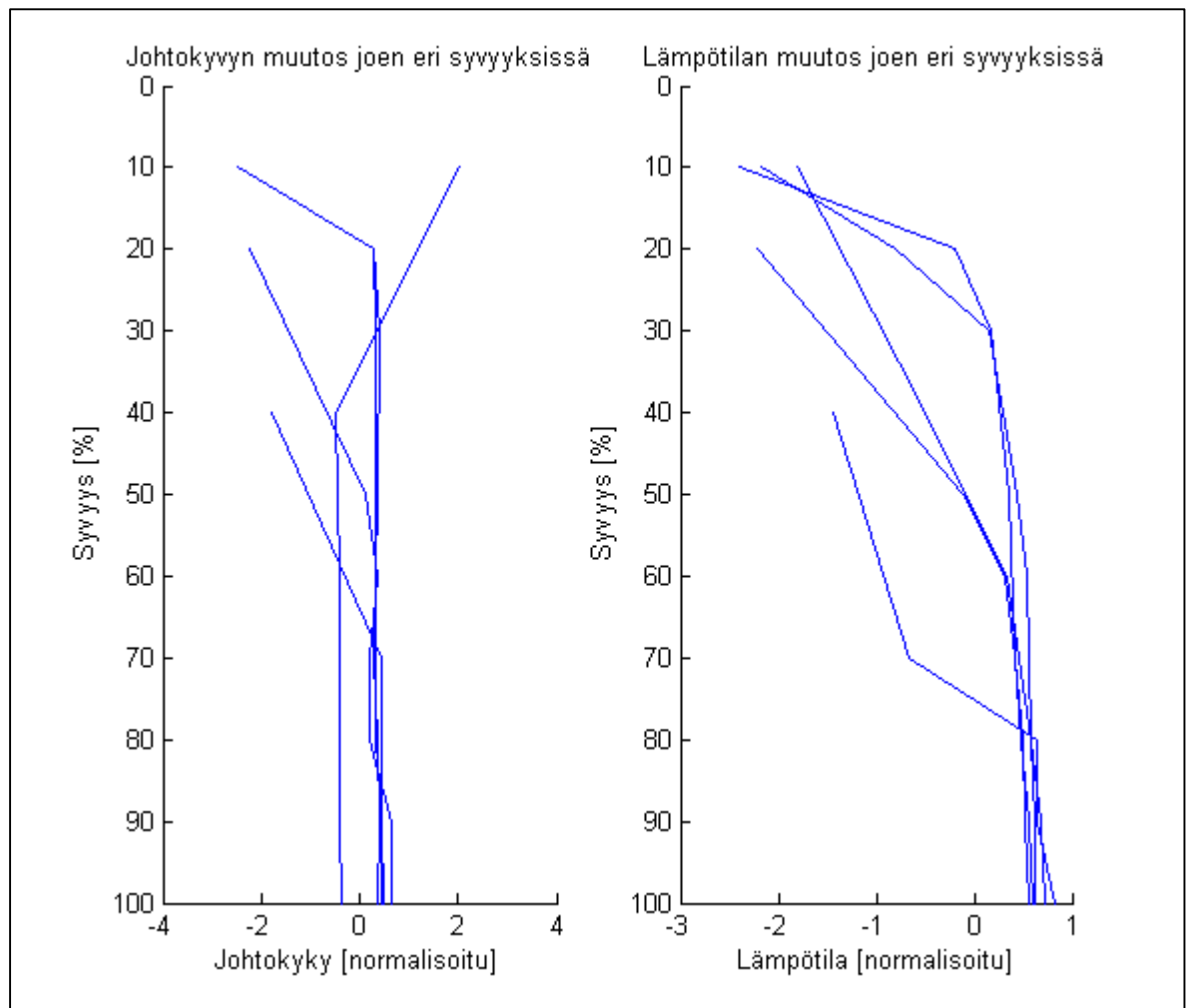
Prosessivesien purkupisteen sähkönjohtavuuden voimakas aleneminen kesäkuun jälkeen selittyy sillä, että kaivos purki kesäkuussa 2014 Seurujokeen käsiteltyä prosessivettä keskimäärin 174 m^3/h , mutta vastaava määrä heinä-, elo- ja syyskuussa oli vain 52–31 m^3/h (Ramboll 2015, 8-9). Kun kaivosvesien purkumäärät vähenivät, myös niiden vaikutus Seurujoen sähkönjohtavuuteen pieneni. Elokuussa 2014 sähkönjohtavuus oli prosessivesien purkupisteen jälkeen tutkituista kuukausista korkein, 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tämä selittyy ainakin osittain sillä, että sähkönjohtavuusmittaukset tehtiin 26.–27.8. ja prosessivesiä purettiin 23.–24.8. poikkeuksellisesti yli 100 m^3/h , kun keskimäärin elokuun prosessivesien purkumäärä oli 52 m^3/h (kuvio 2).

TAULUKKO 12. Seurujoen lämpötilakorjatun sähkönjohtavuuden keskiarvot ennen prosessivesien purkupistettä, purkupisteen kohdalla ja purkupisteen jälkeen kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa 2014.

Kuukausi	Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvot, $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	PVK 4, ennen purkua	PVK 4, purku	PVK 4, purun jälkeen
Kesäkuu	54	3894	181
Heinäkuu	86	1191	141
Elokuu	82	1580	230
Syyskuu	102	856	116

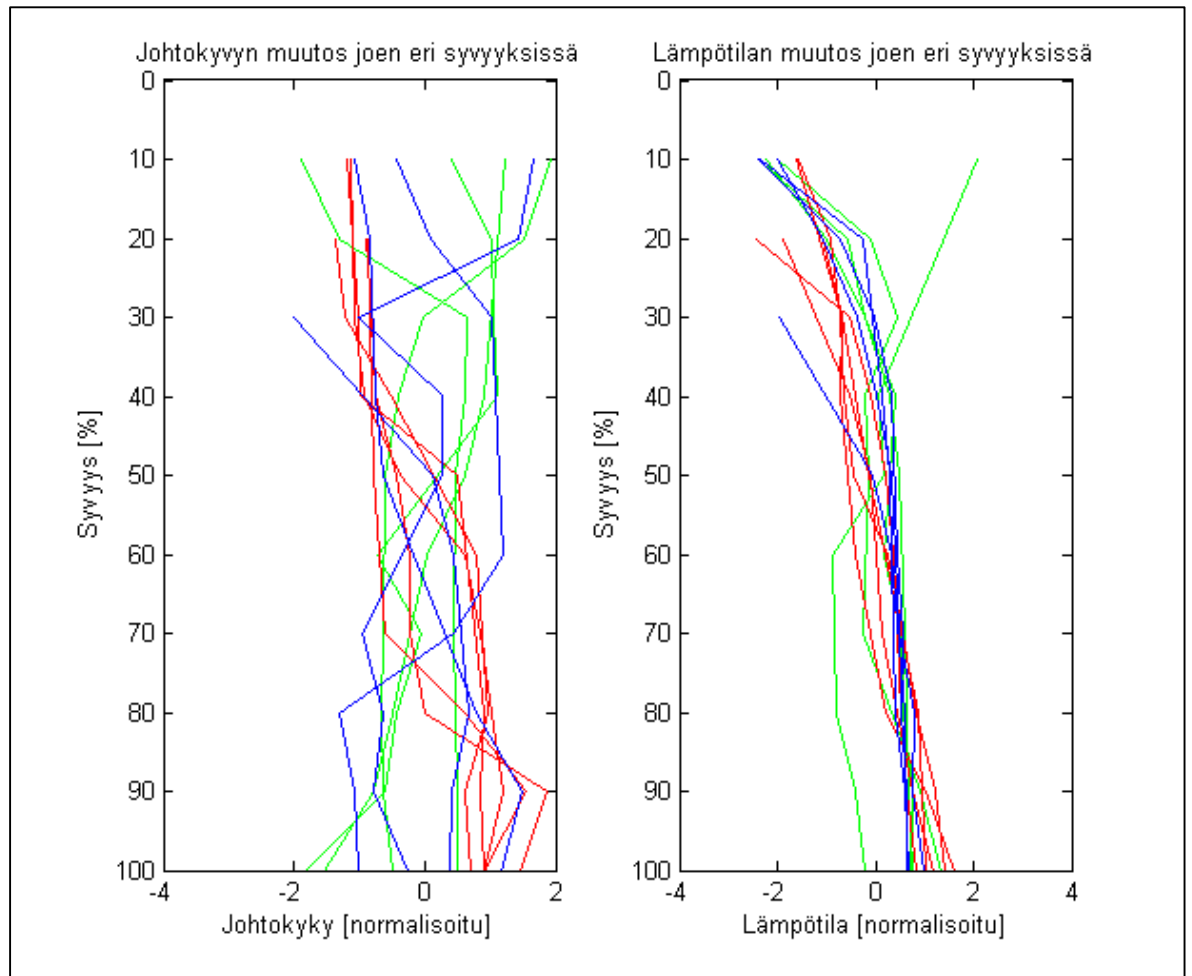
Alla oleva kuvio 20 osoittaa, että sähkönjohtavuus oli Seurujoessa 16.6.2014 luonnostaan korkein joen pohjalla ja alhaisin vesipatsaan yläosassa. Sähkönjohtavuus myös pysytteli suunnilleen samana vesipatsaan puolen välin jälkeen pohjalle asti ja vaihtelu oli ylipäättään kohtalaisen pientä. Seurujoen syvyys kyseessä olevissa mittauspisteissä oli noin 0,5 m. 16.6.2014 tehdyissä mittauksissa myös veden lämpötila kasvoi lähemmäs pohjaa mentäessä ja oli joen pohjalla noin 8,5 °C. Mittauspäivänä Seurujoella satoi räntää ja ilman lämpötila oli noin 0 °C. Kuvio 20 tuki oletusta, että kesäkuussa kaivoksen yläpuolella sekä sähkönjohtavuus että veden lämpötila olisivat korkeimmat joen pohjalla.

Vastaavat kuviot Seurujoen sähkönjohtavuuden ja lämpötilan vaihtelusta elo- ja syyskuun mittauspäivinä löytyvät työn liitteistä (liitteet 12 ja 16). Elo- ja syyskuun mittauksissa sähkönjohtavuus ilmeni jokivedessä samoin kuin kesäkuussa, mutta lämpötila laski joen pohjalle mentäessä, kuten oletettiin tapahtuvan pintavesien lämmitessä kesän aikana.



KUVIO 20. Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos Seurujoen eri syvyyksissä kaivoksen yläpuolella, Jokiylä2-pisteessä, 16.6.2014. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

Alla olevassa kuviossa 21 on kuvattu sähkönjohtavuutta ennen prosessivesien purkupistettä, purkupisteessä ja purkupisteen jälkeen. Vihreät käyrät ovat mittauksia ennen purkupistettä, punaiset purkupisteessä ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuvion 21 vihreistä käyristä nähdään, että ennen prosessivesien purkamista Seurujokeen, sähkönjohtavuus oli korkein joen pintavedessä. Tämän perusteella oletettiin, että sähkönjohtavuutta eivät nostaneet vettä raskaammat suolat vaan jokivedessä luonnostaan esiintyneet aineet. Kuvion 21 punaisista käyristä taas nähdään, että prosessivesien purkupisteessä Seurujoen sähkönjohtavuus oli korkein joen pohjalla. Tällöin sähkönjohtavuuteen vaikuttavat selvästi prosessivesien sisältämät aineet, natrium, kalium, kalsium, magnesium ja sulfaatti, jotka painuvat raskaina joen pohjalle. Prosessivesien purkupisteen jälkeisissä, kuvion 21 sinisissä käyrissä hajonta on suurinta. Tällöin sähkönjohtavuuteen vaikuttivat sekä prosessivedet että jokivesi ja niiden sekoittuminen. Lämpötila sen sijaan on suunnilleen sama riippumatta mittauspisteestä. Yhtä mittausta lukuun ottamatta, lämpötila kasvaa joen pohjalle mentäessä. Kuviossa olevien mittauspisteiden keskimääräinen syvyys oli noin 0,65 m. Vastaavat kuviot heinä-, elo- ja syyskuun sähkönjohtavuusmittauksista löytyy työn liitteistä 9, 13 ja 17.



KUVIO 21. Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos Seurujoen eri syvyyksissä prosessiveden purkupisteessä 16.6.2014. Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

Alla olevassa taulukossa 13 nähdään, miten kaivoksen käsiteltyjä kuivatusvesiä purkava pintavalutuskenttä 1 vaikutti Seurujoen sähkönjohtavuuteen ja miten sähkönjohtavuus vaihteli mittauskausien välillä. Ympäristöluvan mukaisesti kaivos saa purkaa kuivatusvesiä aina 5 % Seurujoen virtaamasta.

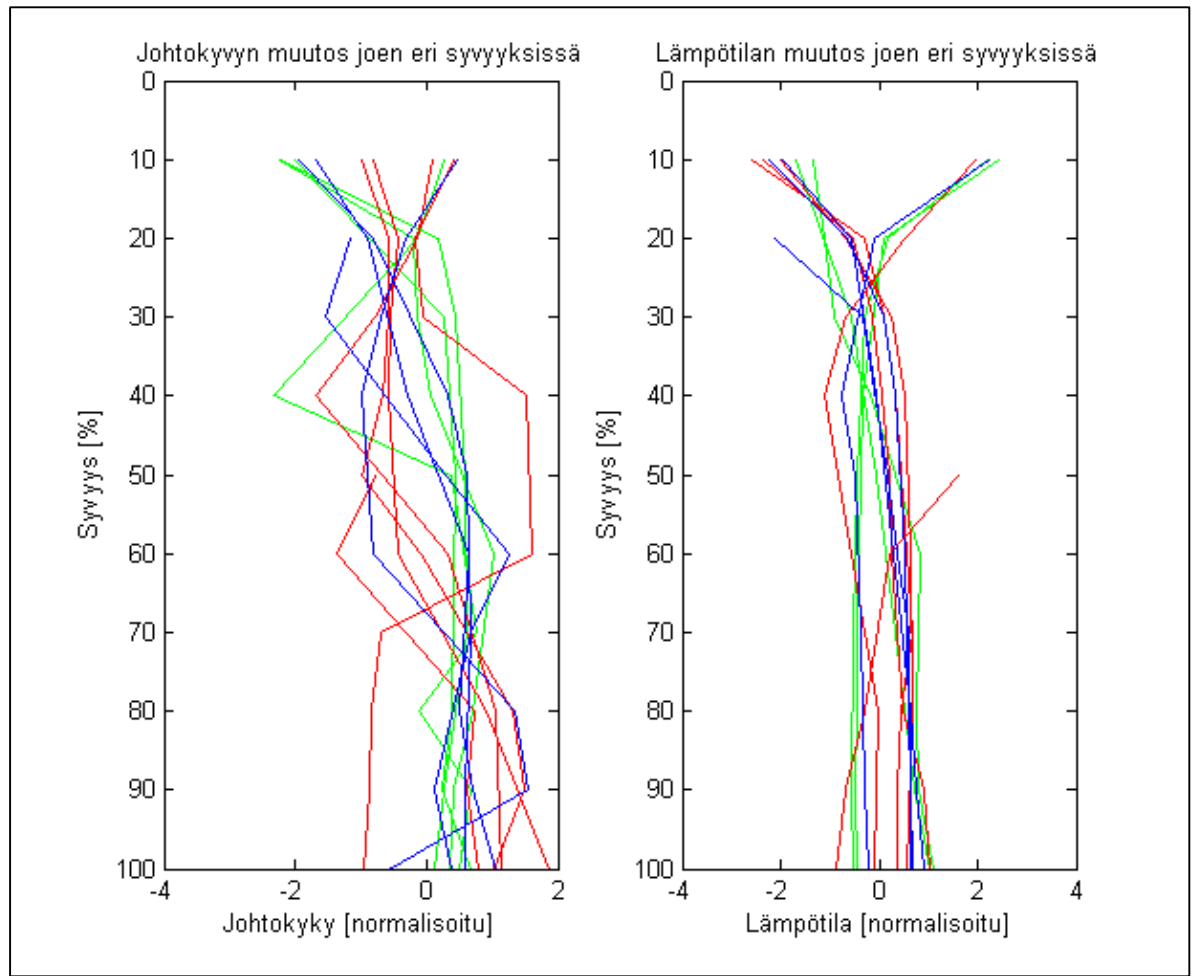
Ennen kuivatusvesien purkupistettä tehdyissä CastAway CTD -sähkönjohtavuusmittauksissa nähtiin selvästi prosessivesien purkupisteen vaikutukset. Kun sähkönjohtavuus oli prosessivesien purkupisteen jälkeen korkealla, se oli korkealla myös ennen kuivatusvesien purkupistettä. Prosessi- ja kuivatusvesien purkupisteiden välinen matka oli noin 1,5 km. Taulukoiden 12 ja 13 arvoja vertailemalla nähdään, että sähkönjohtavuus pysyi suunnilleen samalla tasolla prosessivesien purkupisteeltä kuivatusvesien purkupisteelle asti. Kuivatusvesien purkupisteen kohdalla sähkönjohtavuus vaihteli syyskuun 242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ elokuun 961 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kesäkuussa sähkönjohtavuus purkupisteen kohdalla oli 578 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja heinäkuussa 456 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kuivatusvedet olivat siis selvästi vähemmän sähköä johtavia kuin prosessivedet. Tästä huolimatta kuivatusvedet kuormittivat Seurujokea enemmän kuin prosessivedet. Tämä oli seurausta siitä, että kuivatusvesiä purettiin Seurujokeen huomattavasti prosessivesiä enemmän. Kuivatusvesien purkupisteen jälkeen korkeimmat sähkönjohtavuusarvot mitattiin syys-

kuussa, jolloin mittausten keskiarvo oli 275 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ja alhaisimmat heinäkuussa, jolloin mittausten keskiarvo oli 189 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kesäkuussa kuivatusvesien purkupisteen jälkeisten mittausten keskiarvo oli 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja syyskuussa 209 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

TAULUKKO 13. Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvot ennen kuivatusvesien purkupistettä, purkupisteen kohdalla ja purkupisteen jälkeen kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa 2014.

Kuukausi	Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvot, $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	PVK 1, ennen purkua	PVK 1, purku	PVK 1, purun jälkeen
Kesäkuu	195	578	256
Heinäkuu	144	456	189
Elokuu	243	961	275
Syyskuu	117	242	209

Kuviosta 22 on esitetty Seurujoen sähkönjohtavuuden muutoksia ennen kuivatusvesien purkupistettä, purkupisteessä ja purkupisteen jälkeen. Vihreät käyrät ovat mittauksia ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviosta 22 nähdään, että yhtä mittausta lukuun ottamatta, purkupisteen kohdalla sähkönjohtavuus nousi joen pohjalle mentäessä. Ennen purkupistettä tehdyt mittaukset eli vihreät käyrät noudattivat samaa sähkönjohtavuustasoa lähes pinnasta pohjaan asti. Mittausten perusteella prosessivedet olivat siis sekoittuneet jokiveteen syvyysuunnassa ennen kuivatusvesien purkupistettä. Prosessivesien purkupisteen vaikutukset näkyivät kuitenkin ennen kuivatusvesien purkupistettä tehdyissä mittauksissa, sillä sähkönjohtavuus oli huomattavasti Seurujoen luontaista tasoa korkeampi. Kaikkien kuviossa 22 olevien mittausten välinen hajonta on vähäisempää kuin kuviossa 21 esitettyjen mittausten välinen hajonta. Tämä tulos oli odotettavissa, koska kuivatusvedet purettiin jokeen prosessivesien alapuolelle, jolloin jokivesi oli jo kaivoksen prosessivesien kuormittamaa. Lämpötila käyttäytyi ennen kuivatusvesien purkupistettä, purkupisteessä ja sen jälkeen viittä mittausta lukuun ottamatta odotetulla tavalla eli kasvoi joen pohjalle mentäessä. Sen sijaan viidessä mittauksessa lämpötila laski hieman syvemmälle mentäessä. Suurimmassa osassa poikkeustapauksista lämpötilan lasku tapahtui kuitenkin pintavedessä, noin 20 % syvyydessä, joten voitiin olettaa, ettei joen pohjalla ollut lähteitä, jotka olisivat laskeneet veden lämpötilaa. Seurujoki oli noin 0,65 m syvä mittauspisteissä, jotka on esitetty kuviossa 22. Vastaavat mittaukset heinä-, elo- ja syyskuulta on esitetty liitteissä 10, 14 ja 18.



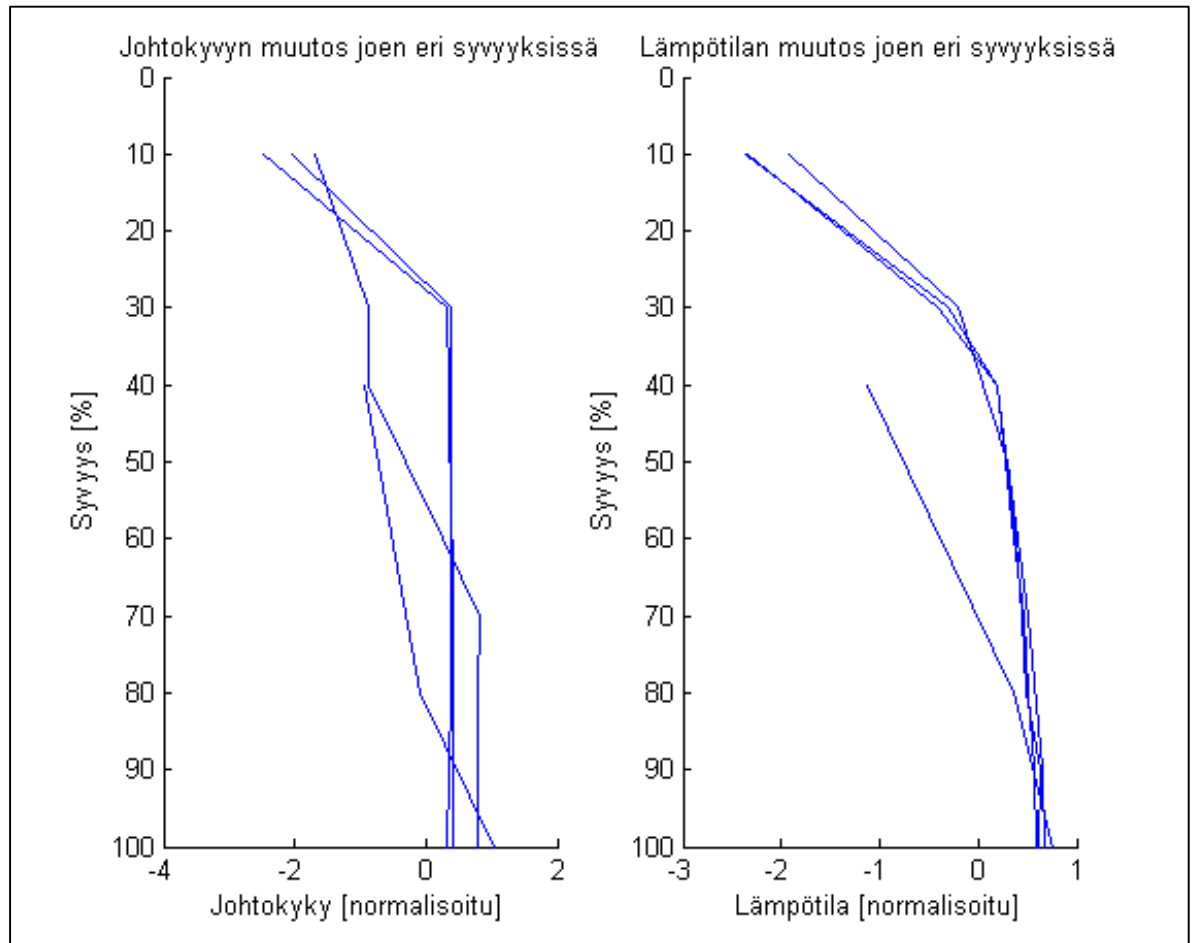
KUVIO 22. Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos Seurujoen eri syvyyksissä kuivatusveden purkupisteessä 16.6.2014. Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

Taulukossa 14 esitellään Seurujoen sähkönjohtavuuksia kaivoksen purkupisteiden alapuolella, Lintulan kylässä. Lintulan kylä sijaitsee Seurujokea alavirtaan kuljettaessa noin 8 km päässä prosessivesien purkupisteestä ja noin 6,5 km päässä kuivatusvesien purkupisteestä. CastAway CTD -mittaukset osoittivat, että taulukossa 14 olevat sähkönjohtavuuden keskiarvot edustivat todellisuudessa Seurujoen sähkönjohtavuuden arvoja jo noin 2-3 km ennen Lintulan kylää. Sähkönjohtavuus tasaantui siis vakiotasolle kohtalaisen nopeasti kuivatusvesien purkupisteen jälkeen ja pysyi tällä tasolla Lintulan kylään asti. Tämä voidaan todeta myös työn liitteinä olevista sähkönjohtavuuskartoista (liitteet 1-8).

TAULUKKO 14. Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvot kaivoksen alapuolella Lintulan kylässä kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa 2014.

Kuukausi	Seurujoen sähkönjohtavuuden keskiarvo, $\mu\text{S}/\text{cm}$ Lintula
Kesäkuu	219
Heinäkuu	211
Elokuu	286
Syyskuu	204

Alla olevasta kuviosta 23 nähdään, että 16.6.2014 kaivoksen alapuolella sähkönjohtavuus käyttäytyi samalla tavoin kuin kaivoksen yläpuolella (kuvio 20). Korkeimmat sähkönjohtavuus- ja lämpötila-arvot mitattiin joen pohjalta ja sähkönjohtavuuden vaihtelu oli kohtalaisen vähäistä. Kaivosvedet olivat siis sekoittuneet kaivoksen alapuolella jokiveteen syvyysuunnassa kohtalaisen tasaisesti, mutta nostivat jokiveden sähkönjohtavuuden keskiarvoa huomattavasti. Seurujoen syvyys kaivoksen alapuolen mittauspisteissä oli keskimäärin 0,5 m. Vastaavat kuviot heinä-, elo- ja syyskuun mittauksista on työn liitteissä 11, 15 ja 19.



KUVIO 23. Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos Seurujoen eri syvyyksissä kaivoksen alapuolella, Lintulassa, 16.6.2014. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

Lisäksi liitteenä olevista sähkönjohtavuuskartoista (liitteet 1-8) nähdään, että sähkönjohtavuus oli prosessi- ja kuivatusvesien purkupisteiden jälkeen pääsääntöisesti korkeampi kaivoksen puolella Seurujokea. Kaivosvesillä kesti kohtalaisen kauan ennen kuin ne sekoittuivat jokiveteen koko joen leveydeltä. Erityisesti tämä näkyy purkupisteiden kohdalta tehdyissä sähkönjohtavuuskartoissa (liitteet 5-8).

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Kittilän kultakaivoksen kaivosvesien leviämistä ja laimene- mista Seurujoessa, johon puretaan kaivoksen käsitellyt prosessi- ja kuivatusvedet. Toisena tavoit- teena oli tarjota sekä Kittilän kaivokselle että yleisesti kaivosten ympäristövaikutusten parissa työs- kenteleville tietoa, miten kaivosvesiä kannattaisi monitoroida ja purkaa vesistöihin. Kittilän kaivosve- sien sekoittumista tutkittiin kesällä 2014 sekä kaivosvesien että jokiveden sähkönjohtavuutta tarkas- telemalla.

Seurujoesta kesällä 2014 otettujen vesinäytteiden ja sähkönjohtavuusmittausten välinen korrelaatio osoitti, että eniten sähkönjohtavuutta Seurujoessa nostivat maa-alkalimetallit (magnesium ja kal- sium), alkalimetallit (natrium ja kalium) sekä sulfaatti. GTK:n ja Oulun yliopiston aikaisempien tutki- musten perusteella nämä aineet eivät pidäytyneet kunnolla pintavalutuskentille 1 ja 4, vaan huuht- outuivat kaivosvesien mukana Seurujokeen (Backnäs 2015-04-10). Sähkönjohtavuutta nostavat me- tallit ja sulfaatti eivät hajoa tai muutu toisiksi aineiksi ympäristössä, vaan kulkeutuivat joessa muut- tumattomina. Jatkuvatoimisten mittalaitteiden tulokset ja ilmatieteenlaitoksen Pokan sääaseman sa- dantatiedot osoittivat, että sähkönjohtavuuteen alentavasti vaikutti alueelle satanut vesi. Vesisatei- den sähkönjohtavuutta laimentava vaikutus oli havaittavissa erityisesti prosessi- ja kuivatusvesiä seuranneiden YSI EXO2 -mittalaitteiden mittaustuloksissa.

Seurujoella tehtyjen CastAway CTD -mittausten perusteella todettiin, että Seurujoen sähkönjohta- vuus nousi selvästi kaivoksen prosessi- ja kuivatusvesien purkupisteiden jälkeen. CastAway CTD - mittaukset osoittivat myös, että sähkönjohtavuusarvot olivat kaivoksen purkupisteiden jälkeen pää- sääntöisesti korkeampia kaivoksen puolella Seurujokea. Kaivosvedet eivät siis sekoittuneet purkupis- teissä tehokkaasti koko joen leveydelle, vaan kulkivat muutamia kilometrejä lähinnä joen itäpuolta. Tällä hetkellä kaivos seuraa Seurujoen vedenlaatua viikoittain molempien purkupisteiden alapuolella länsipuolella jokea. Opinnäytetyössä tehtyjen tutkimusten perusteella ehdotettiin, että kaivos lisäisi ympäristöntarkkailuohjelmaansa pintavedenseurantapisteen, joka sijaitisi purkupisteiden alapuolella joen itäpuolella.

CastAway CTD -mittalaitteella tehdyt sarjamittaukset osoittivat myös, että sähkönjohtavuus oli pää- sääntöisesti korkein joen pohjalla. Tämä johtui siitä, että sähkönjohtavuutta nostanut suolainen kai- vosvesi painui vettä raskaampana joen pohjalle. Tulokset puolsivat kaivoksen suorittamaan pintave- denseurantaan menettelyä, jossa näytteitä otettaisiin joen eri syvyyksistä. Tutkimuksissa kävi ilmi myös voimakas sähkönjohtavuuden vaihtelu kuukausien välillä. Seurujoen sähkönjohtavuuden voi- makas vaihtelu sekä leveys- että syvyyssuunnassa jokea ja kuukausien välillä tekee eliöiden sopeu- tumisesta haasteellisempää kuin mitä se olisi luonnontilaisessa joessa. Kuukausien välistä sähkön- johtavuuden vaihtelua voisi mahdollisesti tasoittaa purkamalla kaivosvesiä tasaisemmin ympäri vuo- den, mutta se vaatisi muutoksia kaivoksen ympäristölupaan.

Jatkuvatoimisten YSI EXO2 -mittalaitteiden tulokset ja CastAway CTD -mittaustulokset osoittivat, et- tä kuivatusvedet olivat huomattavasti vähemmän sähköä johtavia kuin prosessivedet. Kuivatusvesien

purkumäärät olivat kuitenkin läpi kesän huomattavasti prosessivesien purkumääriä suuremmat ja lisäksi prosessivedet purkautuivat selvää purkuojaa pitkin yhdestä kohdasta, kun taas kuivatusvedet purkautuivat viuhkamaisesti useita pieniä puroja myöten, aiheuttaen Seurujoelle laajemmalle levittäytyneen kuormituksen. CastAway CTD -mittalaitteella tehdyt tutkimukset osoittivat, että prosessivesien purkupisteen jälkeen veden sähkönjohtavuus laski lähes joen luonnolliselle tasolle jo alle 500 m mittaisella matkalla. Sen sijaan, kuivatusvesien vaikutukset näkyivät joen alajuoksulla vielä 9 km päässä kuivatusvesien purkupisteestä. Kuivatusvesien suuri purkumäärä oli siis Seurujoelle kuormittavampaa kuin prosessivesien korkea sähkönjohtavuus. Lisäksi kaivosvesien sekoittuminen ja laimenneminen jokiveteen oli tehokkaampaa, kun se tapahtui yhdessä kohdassa. Toisaalta kuivatusvesien sekoittumiseen ja laimennemiseen vaikutti se, että jokiveden sähkönjohtavuus oli jo kuivatusvesien purkupisteessä luonnollista tasoa korkeampi. Näiden tulosten perusteella Kittilän kaivoksen kannattaisi purkaa prosessi- ja kuivatusvedet Seurujokeen selviä purkuoja pitkin kohtiin, jossa joen virtaama on luonnostaan suuri, jotta joen virtaus tehostaisi kaivosvesien sekoittumista. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi koskikohdat. Lisäksi ehdotettiin, että kaivos asentaisi purkupisteiden alapuolelle jatkuvatoimisen mittalaitteen seuraamaan jokiveden sähkönjohtavuutta.

Seurujoen ja kaivosvesien sähkönjohtavuuksien määrittämiseen käytettiin jatkuvatoimisten YSI EXO2 -mittalaitteiden, Hobo-sensorien ja CastAway CTD -mittalaitteen lisäksi YSI Professional Plus -mittalaitetta sekä laboratorioissa tehtäviä vesianalyysyjä. Eri tutkimusmenetelmien tuloksia vertailemalla todettiin, että molemmat uudet mittalaitteet, CastAway CTD ja YSI EXO2, soveltuivat hyvin kaivosvesien seurantaan ja niiden antamat tulokset olivat luotettavia. Tosin CastAway CTD -laite on tarkoitettu käytettäväksi kohtalaisen stabiilien ja syvien vesimassojen sähkönjohtavuuden tarkasteluun ja myös tässä opinnäytetyössä tehtyjen tutkimusten perusteella suositellaan, että tutkittava vesi olisi syvyydeltään yli 0,5 m. Lisäksi tutkimusten aikana huomattiin, että voimakas virtaus häiritsee hieman laitteen käyttöä, joten jokikohteissa mittauspisteet tulisi valita erityisen huolellisesti, jottei tulosten luotettavuus kärsi.

LÄHTEET

ALUEHALLINTOVIRASTO 2010. Kittilän kaivoksen ympäristöluvan muuttaminen prosessi- ja kiviainepitoisuuksien johtamisen, määrän ja tarkkailun sekä syanidin tuhoamisprosessin tarkkailun osalta. Lupapäätös. Nro 61/10/1. Dnro PSAVI/47/04.08/2010. Aluehallintovirasto, Pohjois-Suomi. Ympäristöluvat. [Viitattu 2014-06-06.]

Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56964/psavi_paatos_61_10_1-2010-07-02.pdf

ALUEHALLINTOVIRASTO 2013. Kittilän kaivoksen toiminnan laajentaminen ja ympäristö- ja vesitalousluvan tarkistaminen. Lupahakemus. Nro 72/2013/1. Dnro PSAVI/100/04.08/2011. Aluehallintovirasto, Pohjois-Suomi. Ympäristöluvat. [Viitattu 2014-06-06.]

Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56958/psavi_paatos_72_2013_1-2013-06-26.pdf/68dd28c2-8036-4107-9b17-01c0c5c87b76

BACKNÄS, Soile 2015-04-10. Tutkija. [Haastattelu.] Kuopio: Geologian tutkimuskeskus.

EVANGELOU, V. P. 1998. Environmental soil and water chemistry. A Wiley-Interscience Publication.

JANTUNEN, Jorma, KAUPPILA, Tommi, RÄISÄNEN, Marja Liisa, KOMULAINEN, Hannu, KAUPPILA, Päivi, KAUPPINEN, Tapani, TÖRMÄ, Hannu, LEPPÄNEN, Matti, TORNIVAARA, Anna, PASANEN, Antti, KEMPPAINEN, Eija, RAUNIO, Anne, MARTTUNEN, Mika, MUSTAJOKI, Jyri, KAUPPI, Sari, EKHMOLM, Petri, HUTTULA, Timo, MAKKONEN, Hannu ja LOUKOLA-RUSKEENNIEMI, Kirsti 2015. Opas - Ympäristövaikutusten arviointimenettely kaivoshankkeissa. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). [Viitattu 2015-04-07.]

Saatavissa:

http://www.tem.fi/files/42427/TEM_opas_3_2015_Ymparistovaikutusten_arviointimenettely_kaivoshankkeissa_12032015.pdf

KAUPPILA, Päivi, RÄISÄNEN, Marja Liisa ja MYLLYOJA, Sari 2011. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen ympäristö 29/2011 -lehti. Suomen ympäristökeskus. [Viitattu 2015-04-07.]

Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37056/SY_29_2011.pdf?sequence=3

KAUPPILA, T., KOMULAINEN, H., MAKKONEN, S. ja TUOMISTO, J 2013. Metallikaivosalueiden ympäristöriskinarviointiosaamisen kehittäminen: MINERA-hankkeen loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 199.

LAMPINEN, Hanna 2013-05-02. Ympäristöinsinööri. [Haastattelu.] Kittilä: Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos.

LOTTERMOSER, Bernd. 2007. Mine Wastes. Characterization, Treatment, Environmental Impacts. Toinen painos. Springer.

PÄKKILÄ, Johanna. 2008. Pintavalutus arseenin ja typen poistossa Suurikuusikon kultakaivoksen valumavesistä. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. [Viitattu 2015-04-20.] Saatavissa: <http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/johannapakila.pdf>

PÖYRY 2012. YVA-selostus, Kittilän kaivoksen laajennus. 16WWE0797.B720M.SLU. Pöyry Finland Oy.

RAMBOLL 2015. Kittilän kaivoksen vesipäästöjen tarkkailu. Vuosiraportti 2014. Ramboll Finland Oy.

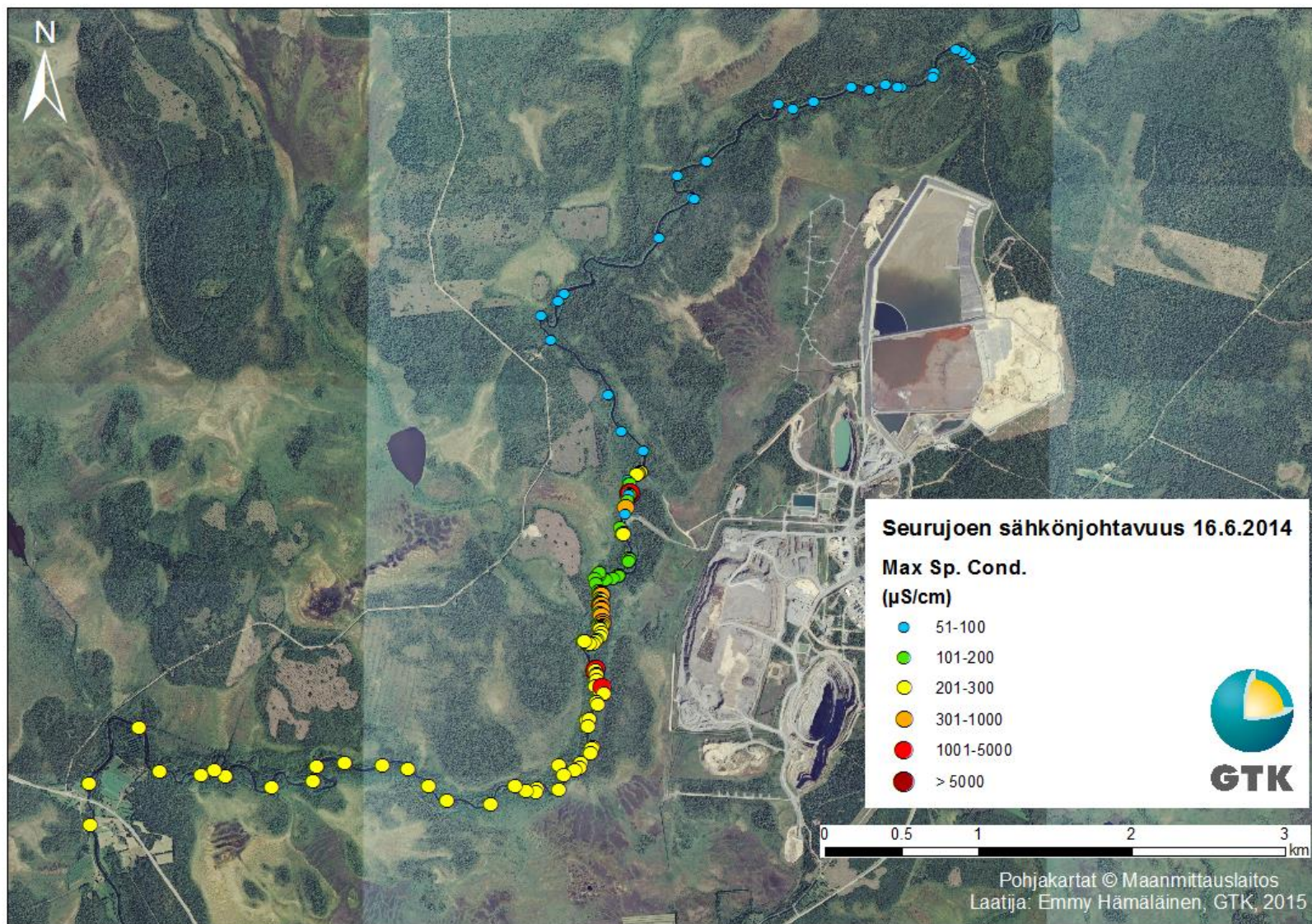
SONTEK 2012. CastAway CTD User's Manual. Versio 1.5. SonTek – a Xylem brand.

WAGNER, Richard, BOULGER, Robert, OBLINGER, Carolyn ja SMITH, Brett 2006. Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Station Operation, Record Computation, and Data Reporting. Techniques and Methods 1–D3. U.S. Geological Survey. [Viitattu 2014-06-30.] Saatavissa: <http://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm1D3/pdf/TM1D3.pdf>

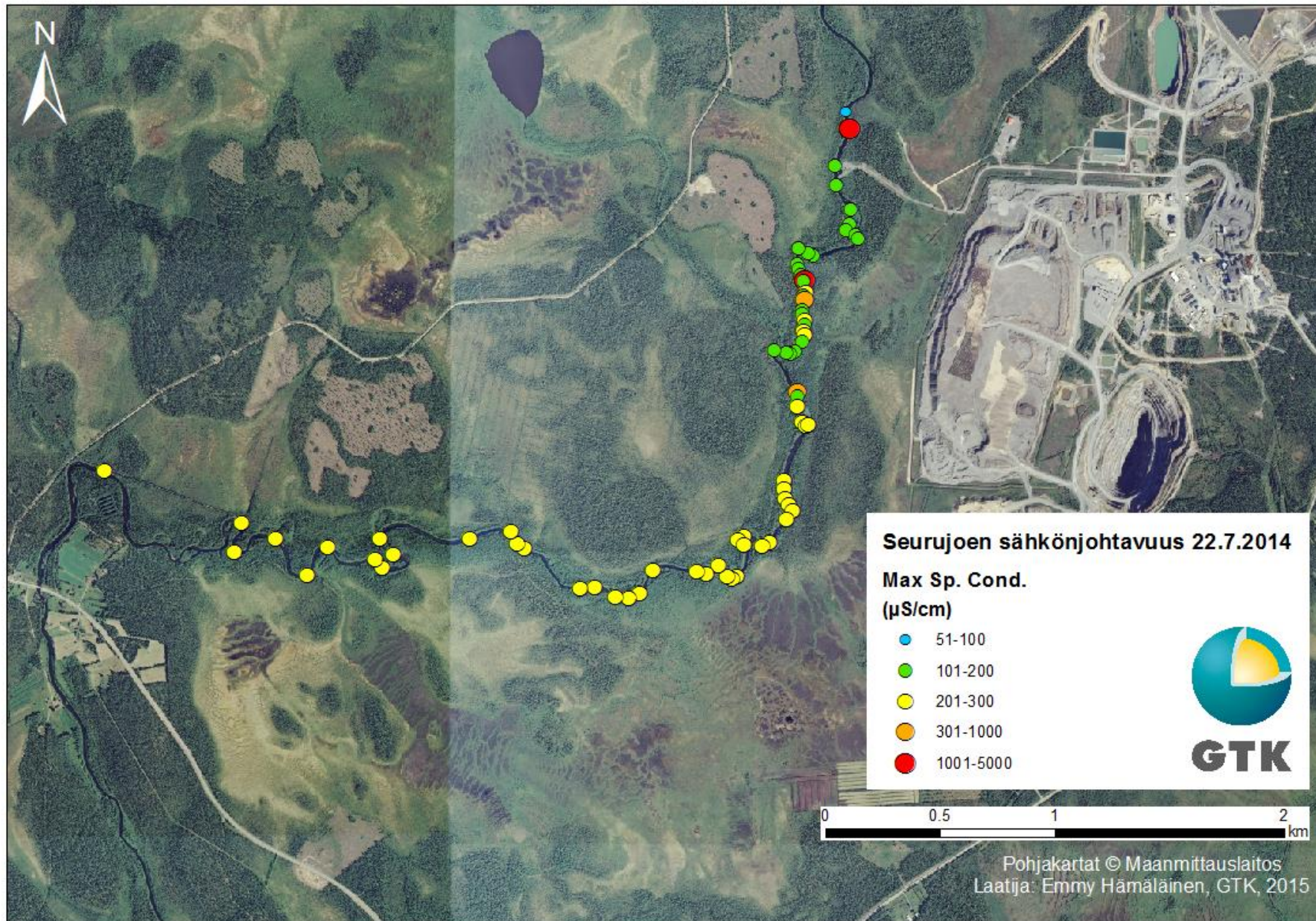
XYLEM INC 2012. EXO User Manual. Joulukuu 2012.

LIITTEET

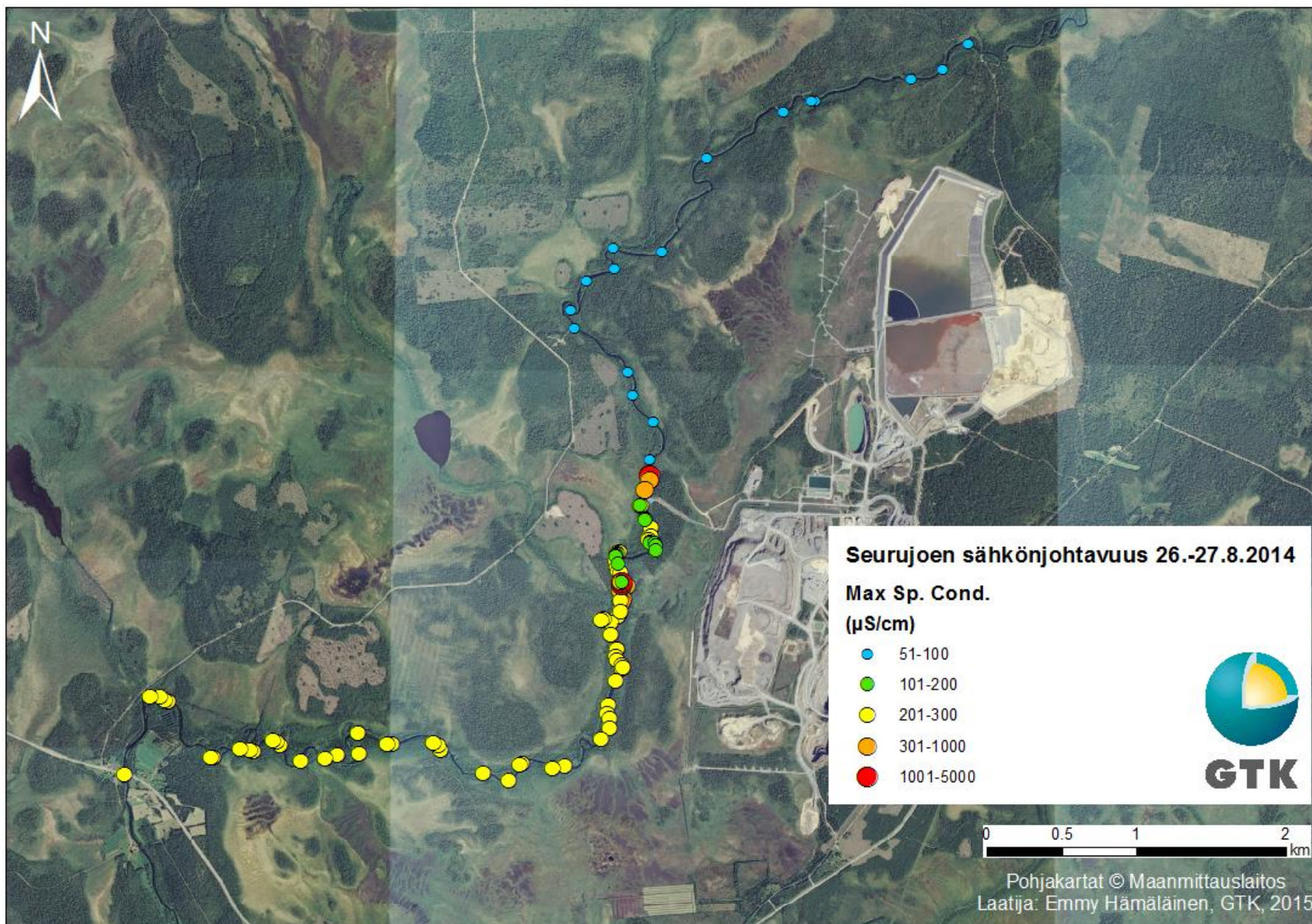
LIITE 1: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kesäkuu 2014.



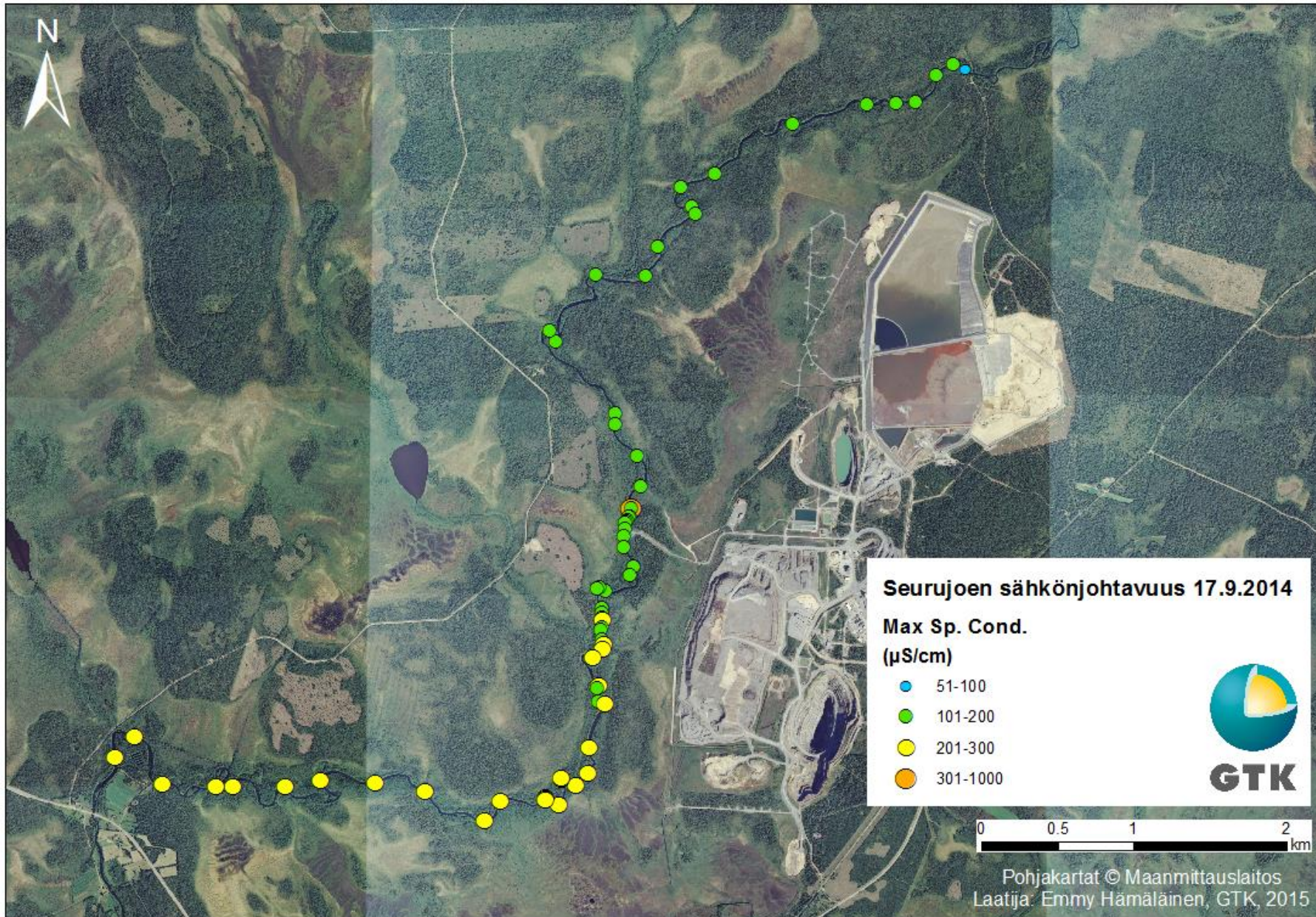
LIITE 2: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, heinäkuu 2014.



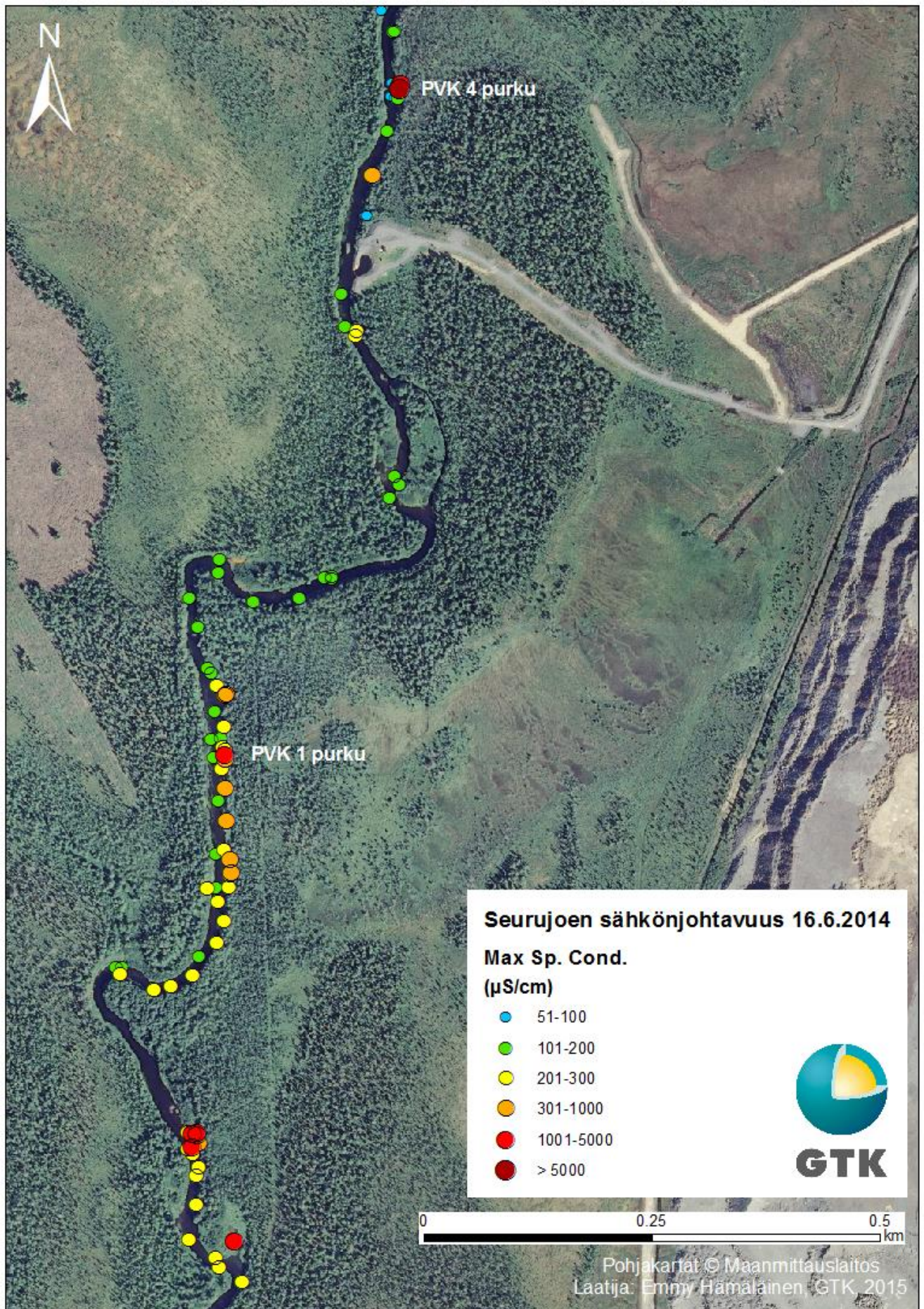
LIITE 3: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, elokuu 2014.



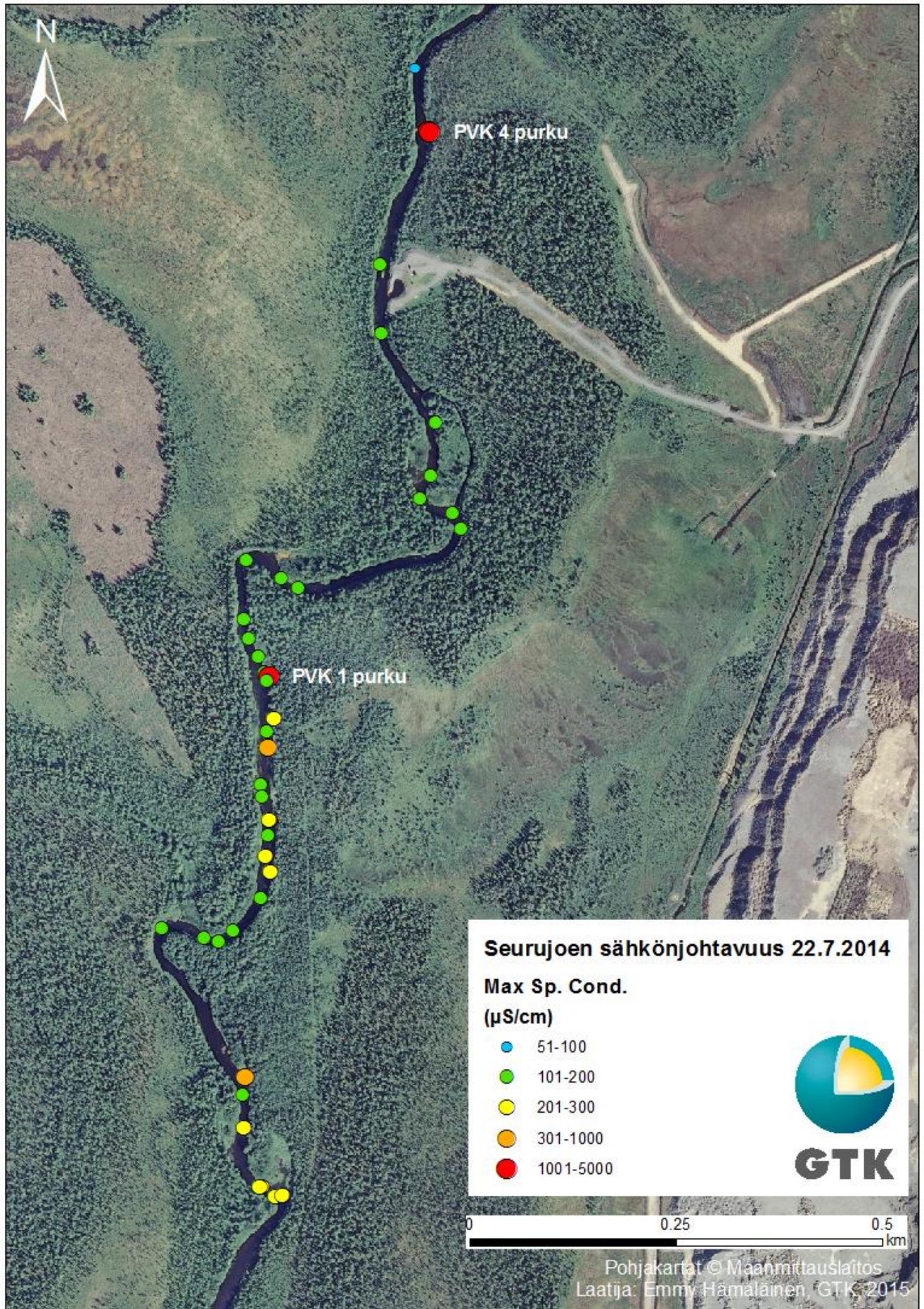
LIITE 4: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, syyskuu 2014.



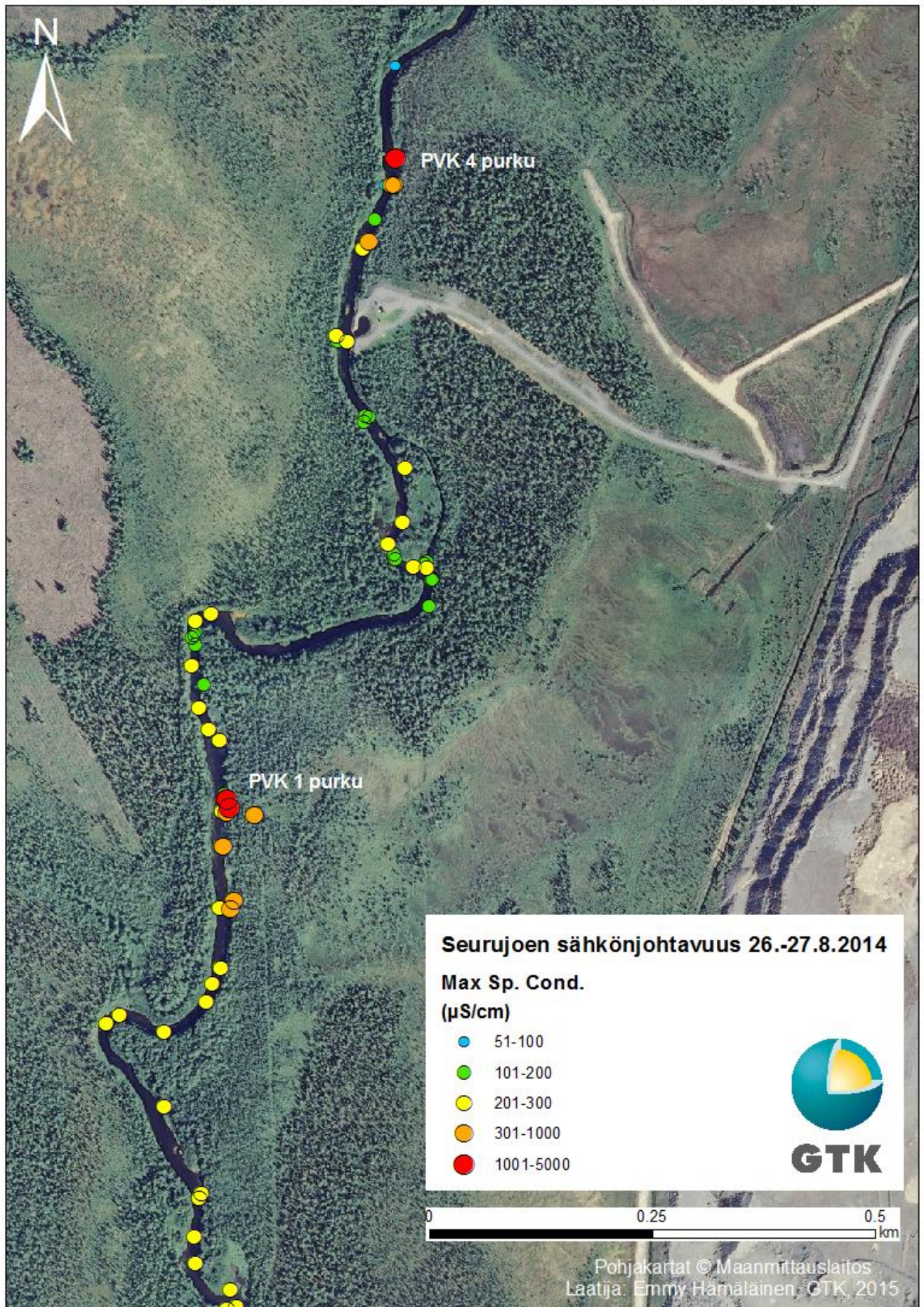
LIITE 5: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, kesäkuu 2014.



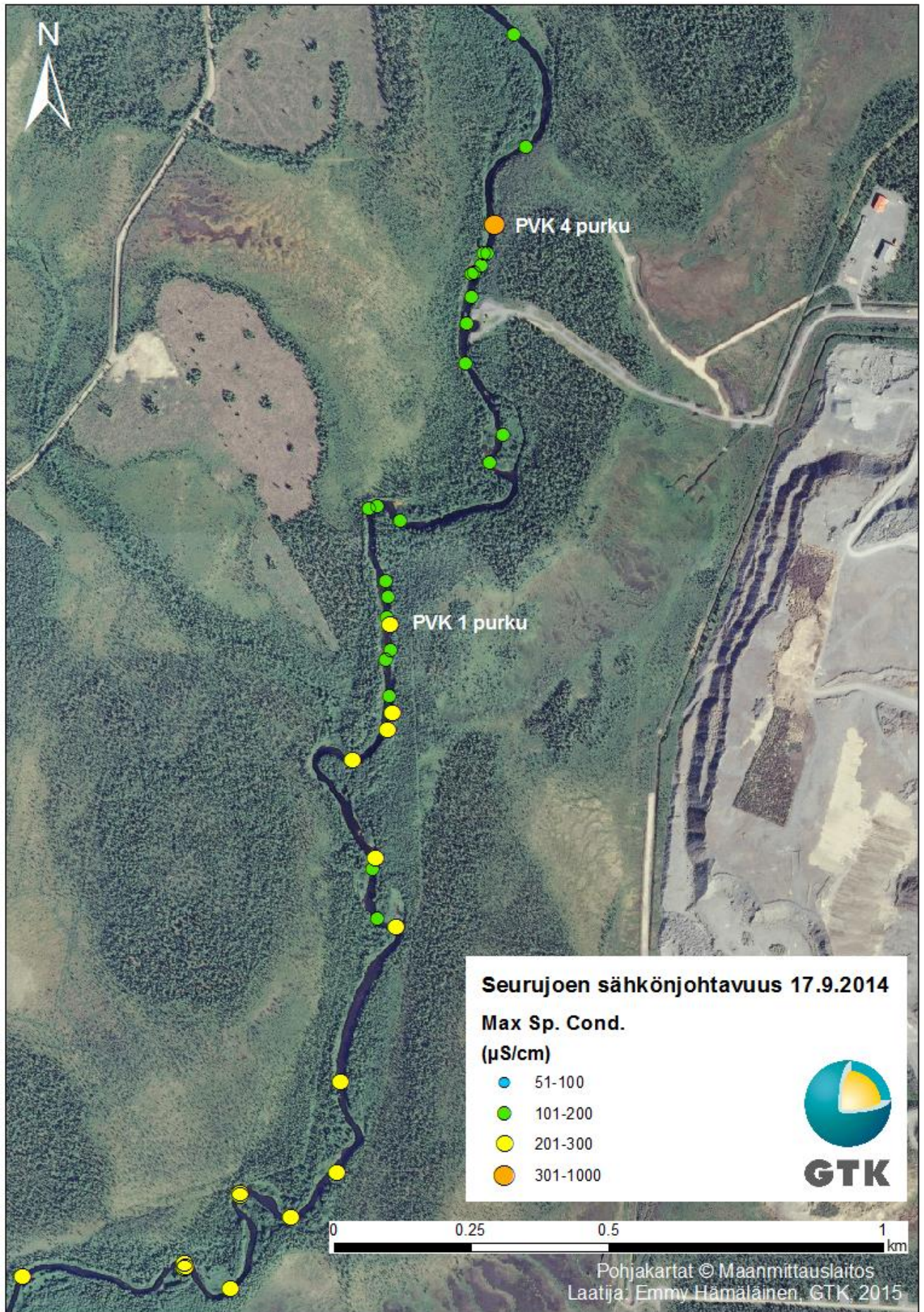
LIITE 6: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoen, kaivosvesien purkupisteet, heinäkuu 2014.



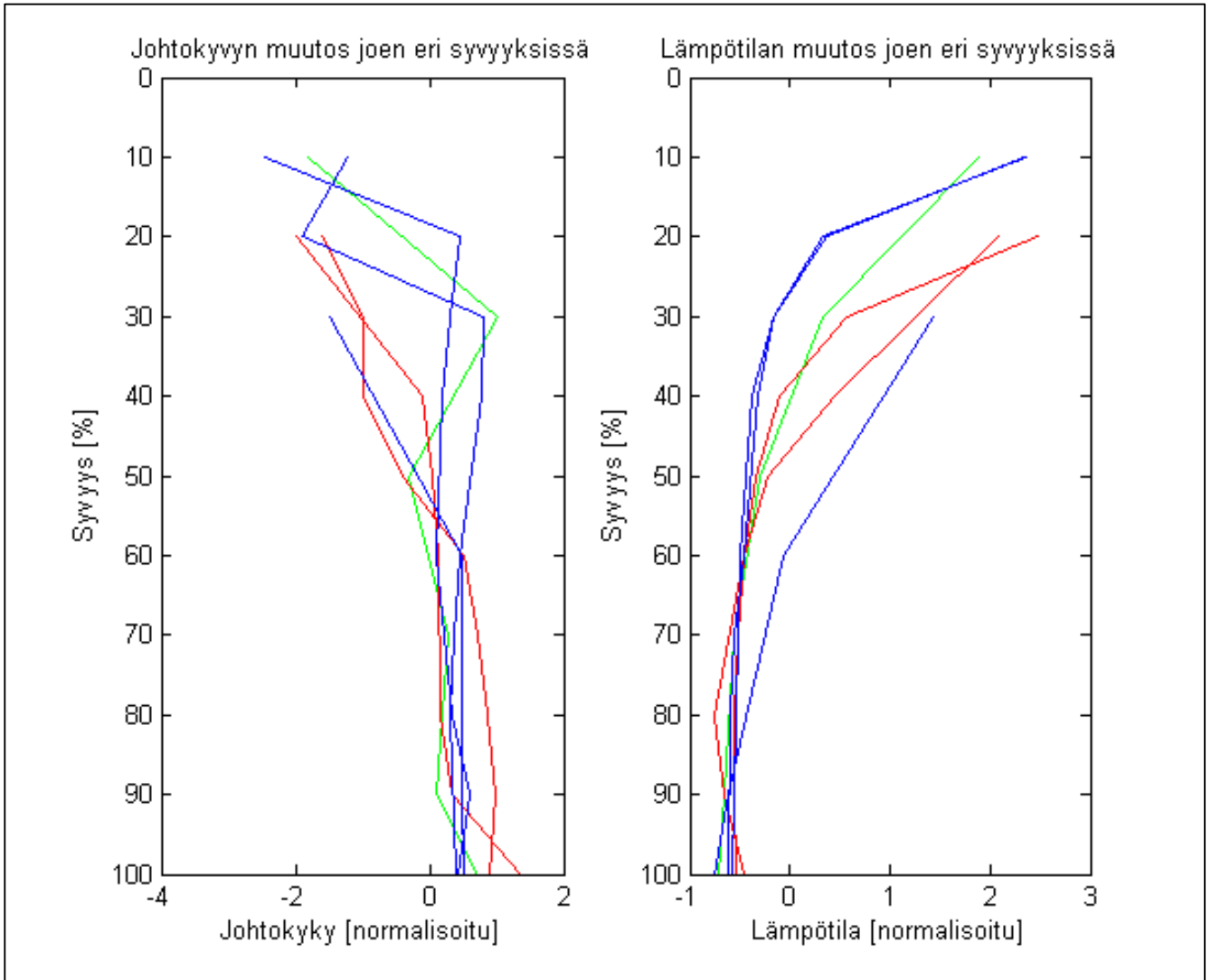
LIITE 7: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoki, kaivosvesien purkupisteet, elokuu 2014.



LIITE 8: Sähkönjohtavuuskartta, Seurujoen kaivosvesien purkupisteet, syyskuu 2014.

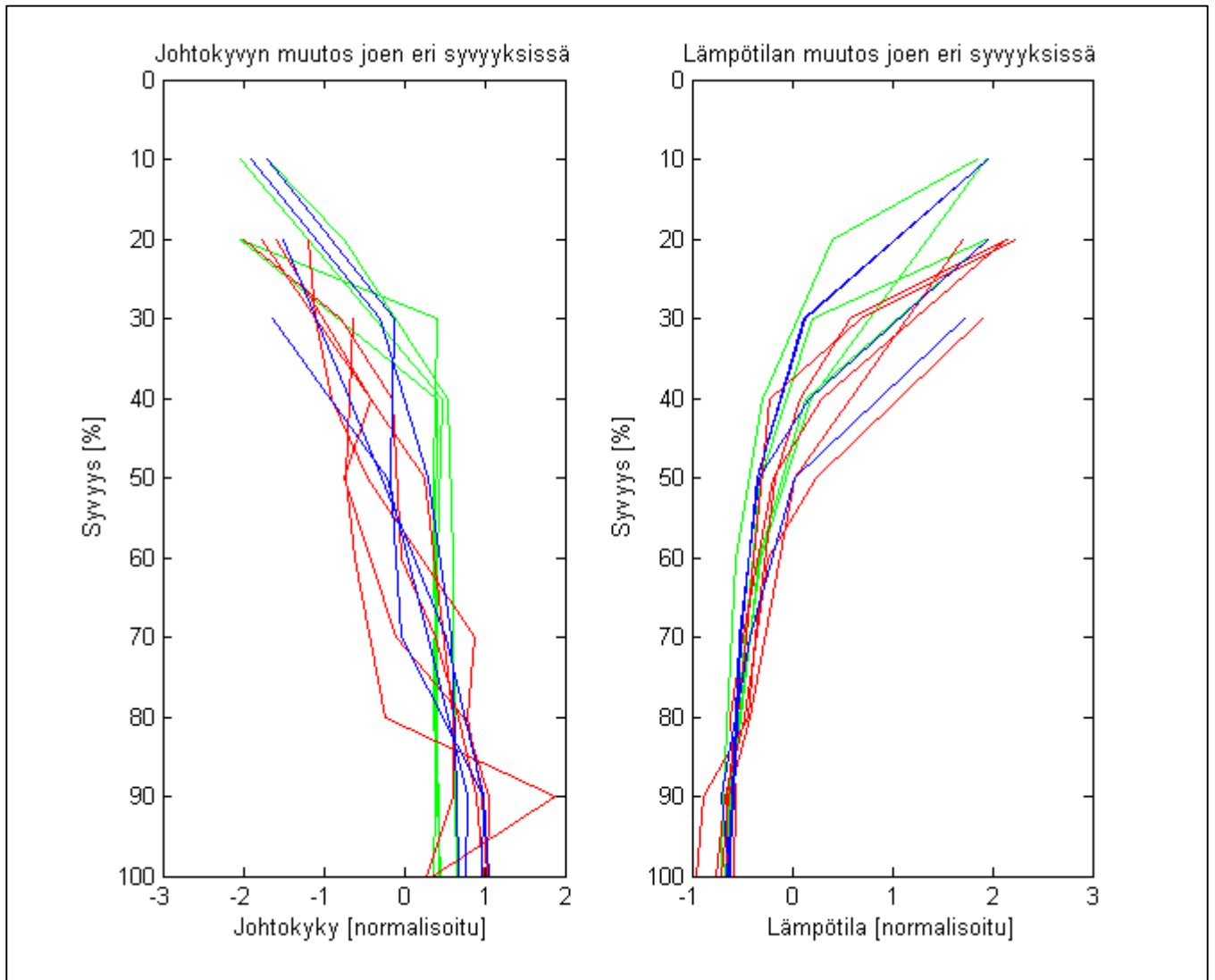


LIITE 9: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, prosessivesien purkupiste.



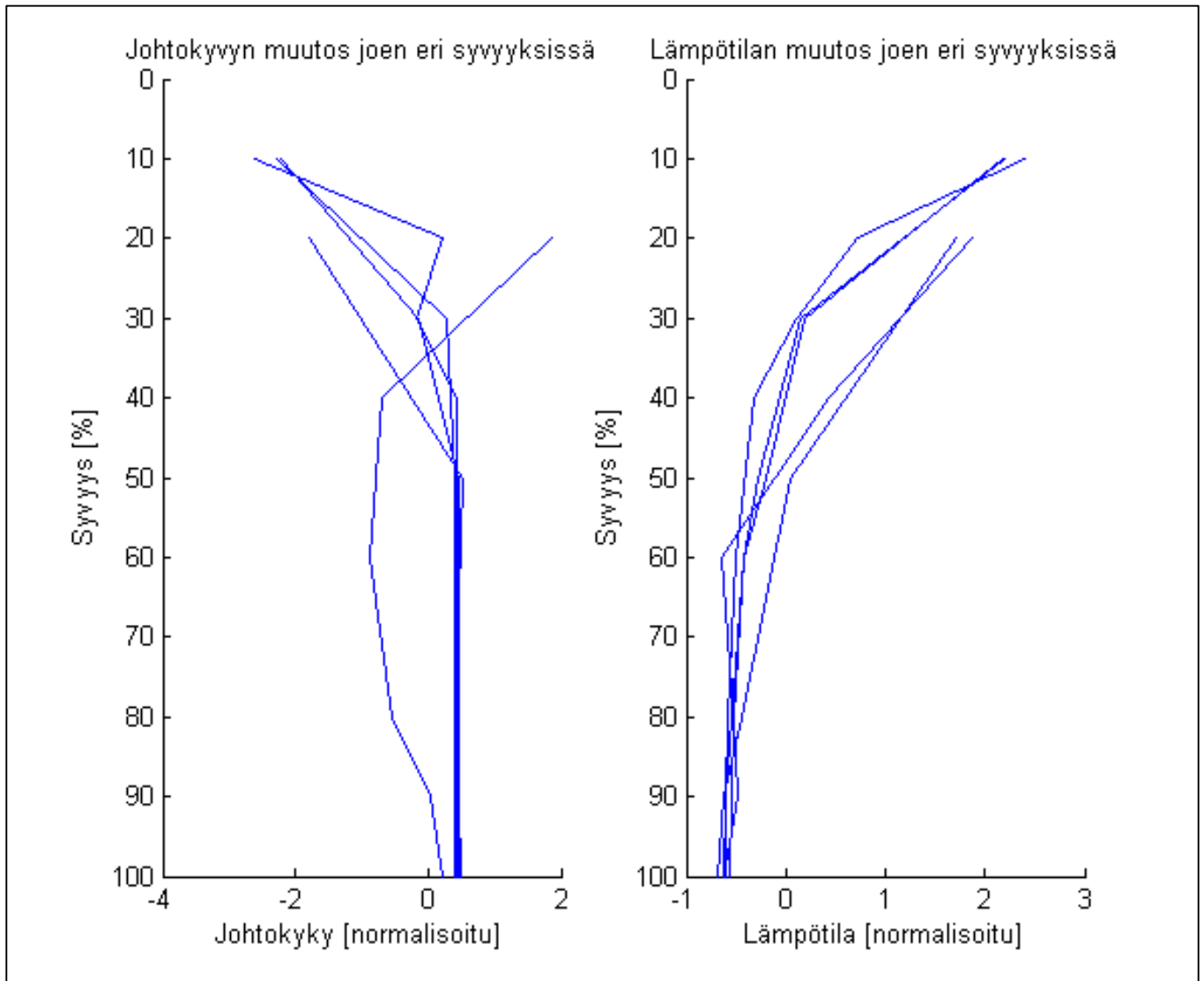
Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 10: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, kuivatusvesien purkupiste.



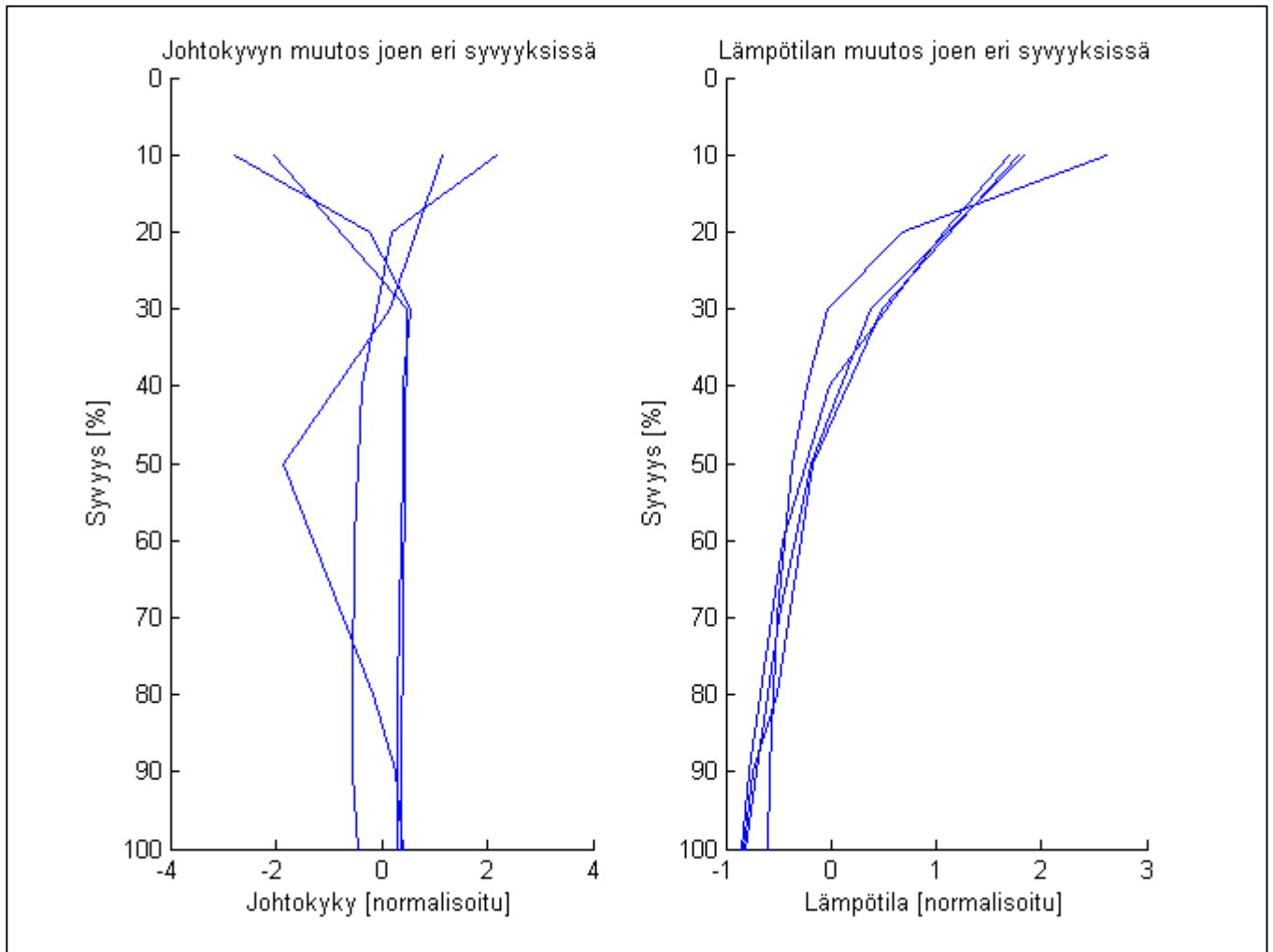
Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 11: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, heinäkuu 2014, Lintulan kylä.



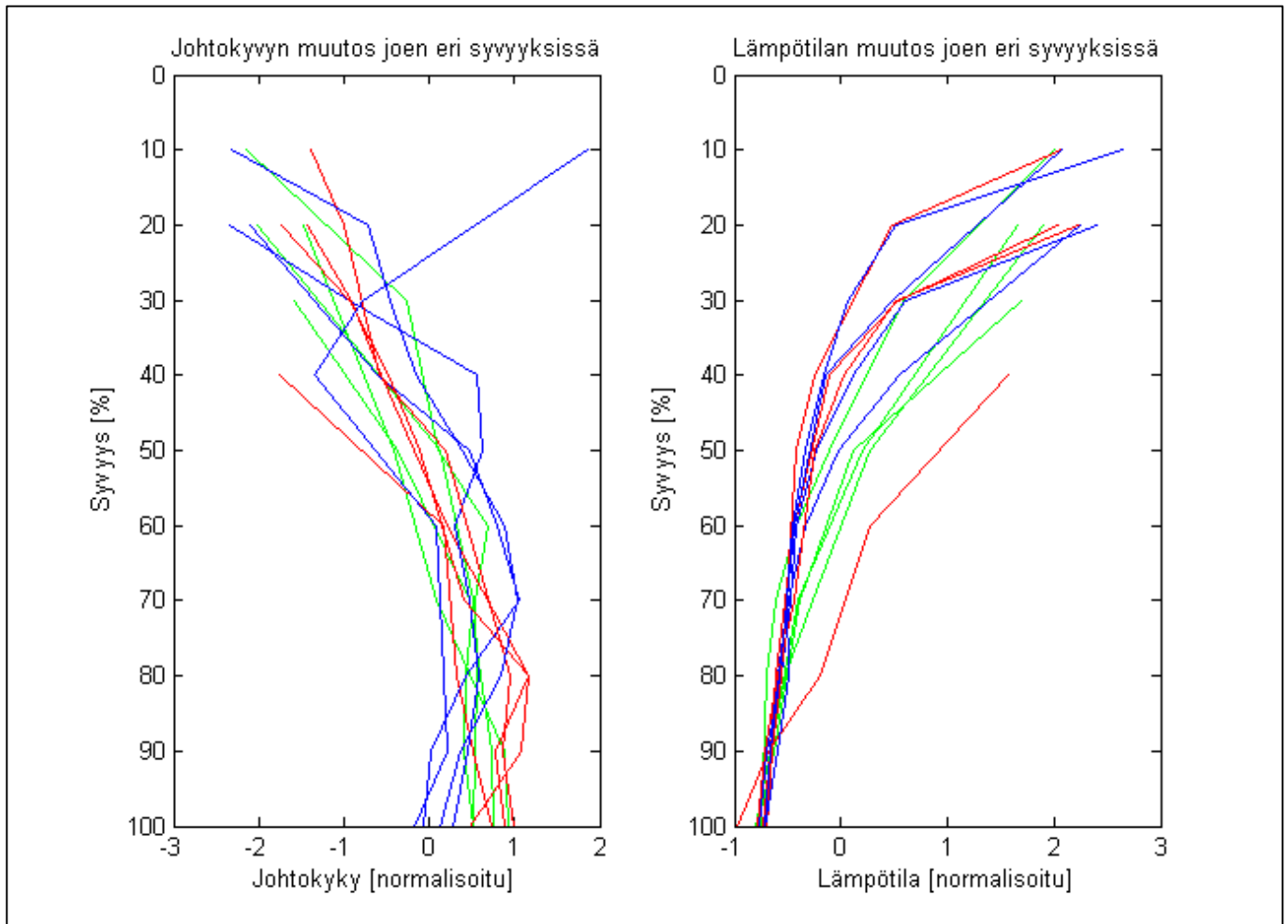
Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 12: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, kaivoksen yläpuoli.



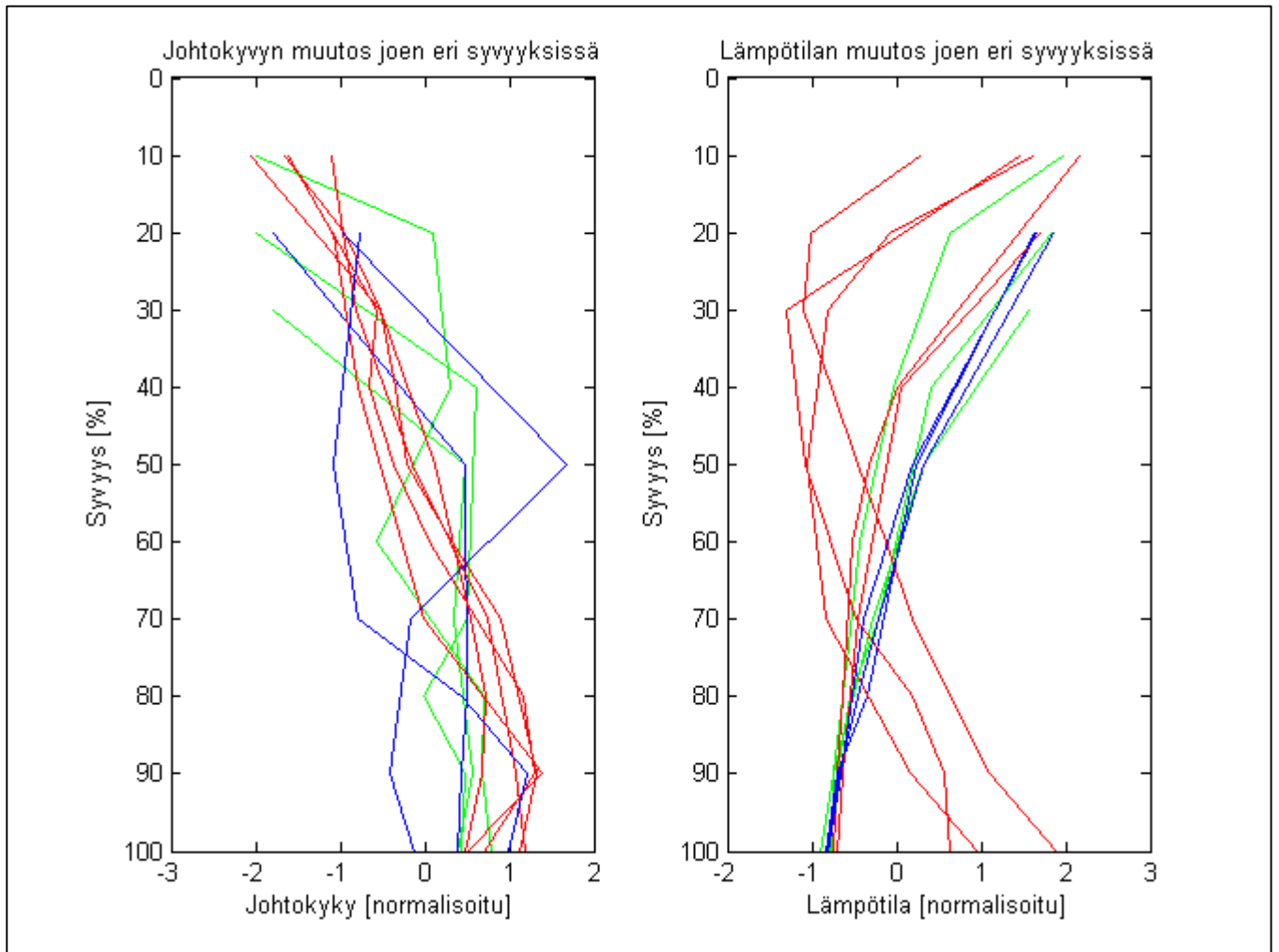
Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 13: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, prosessivesien purkupiste.



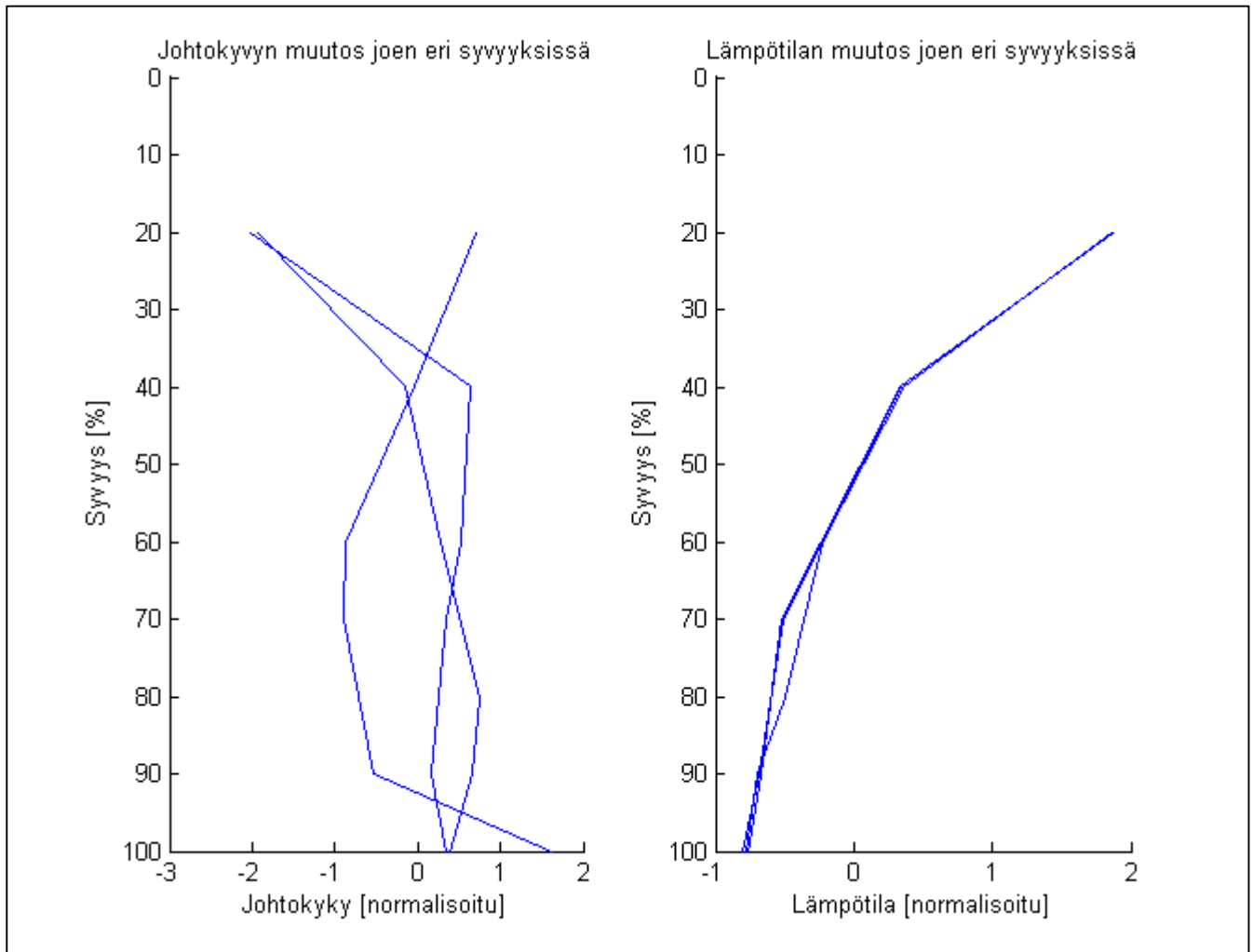
Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 14: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, kuivatusvesien purkupiste.



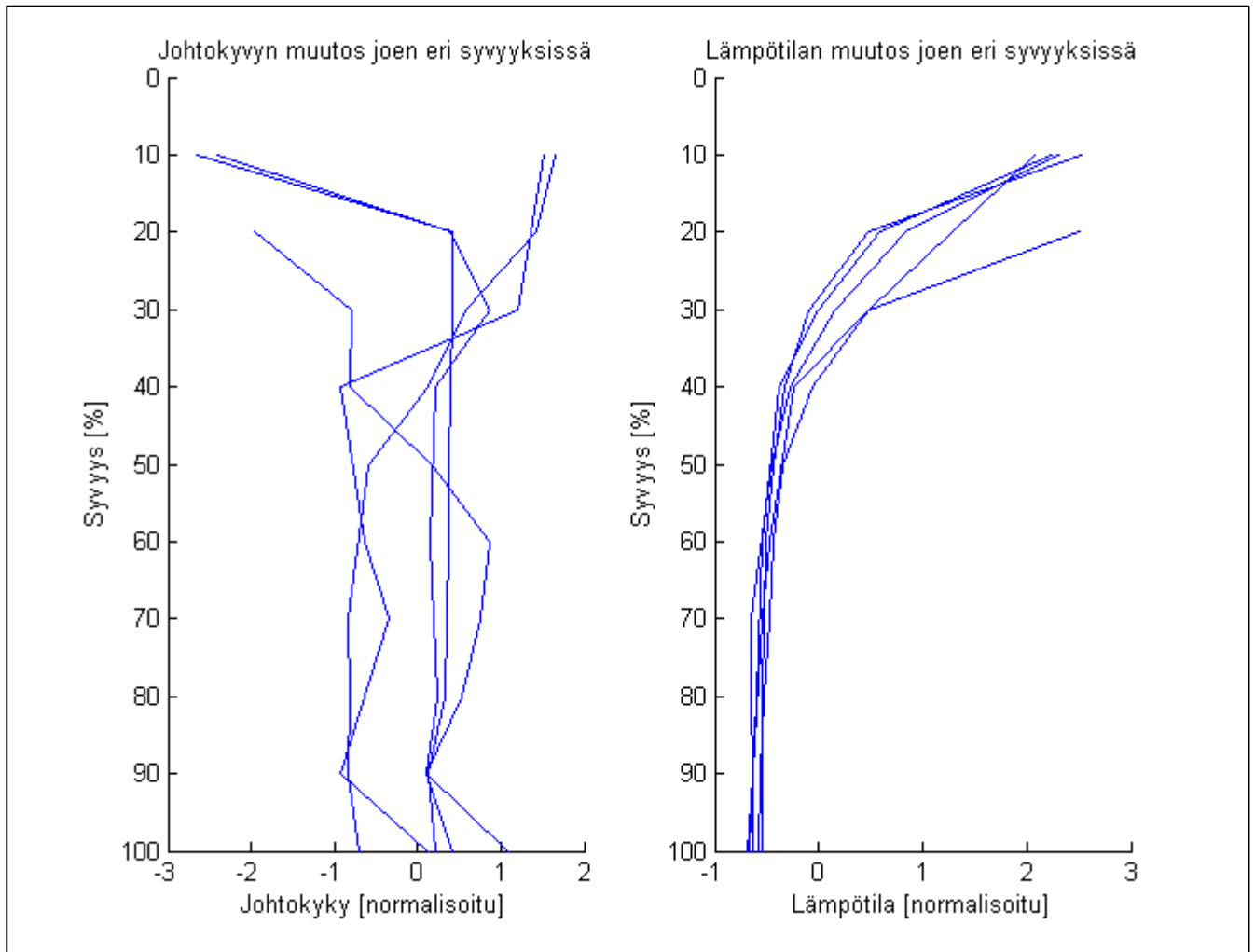
Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 15: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, elokuu 2014, Lintulan kylä.



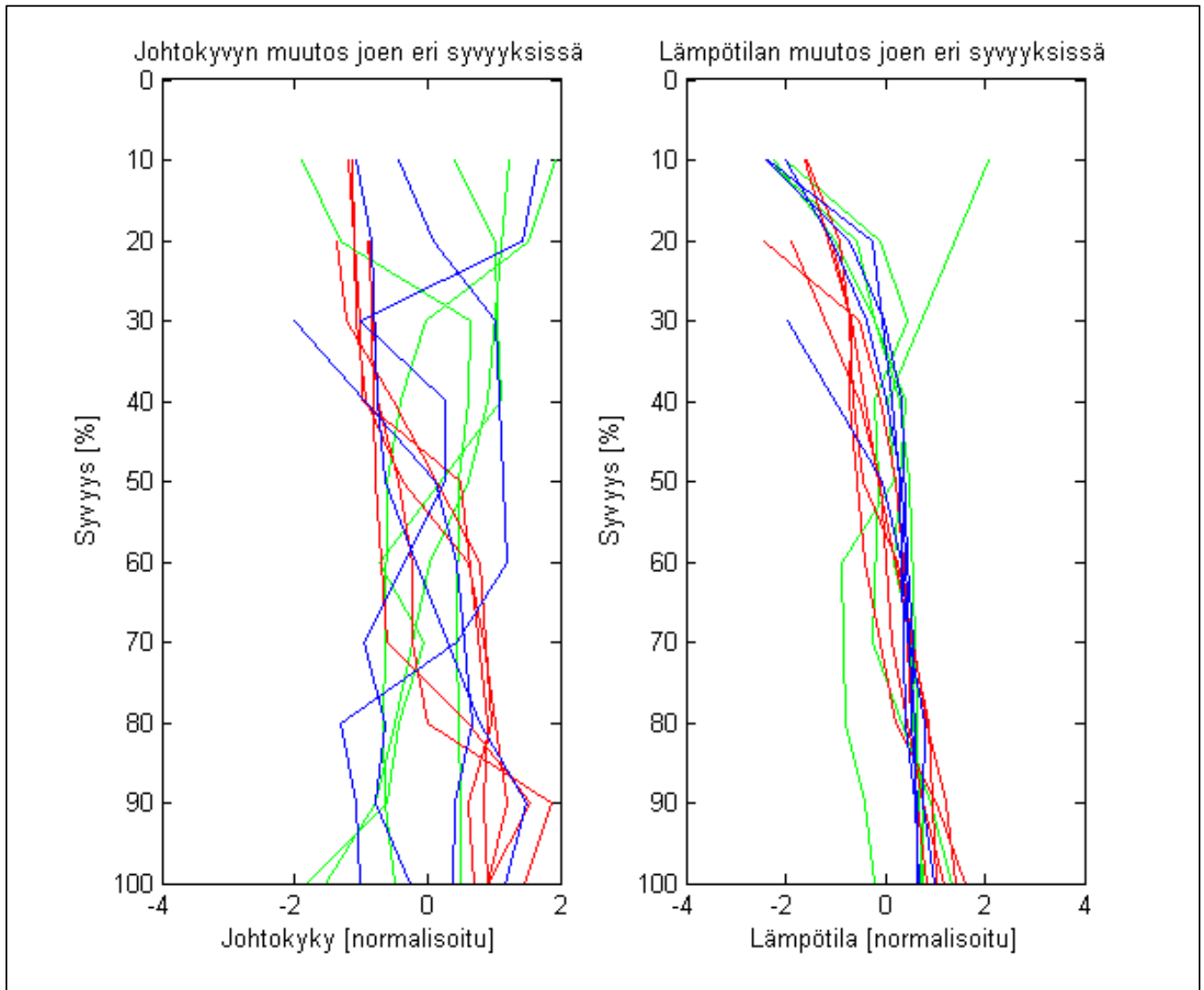
Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 16: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, kaivoksen yläpuoli.



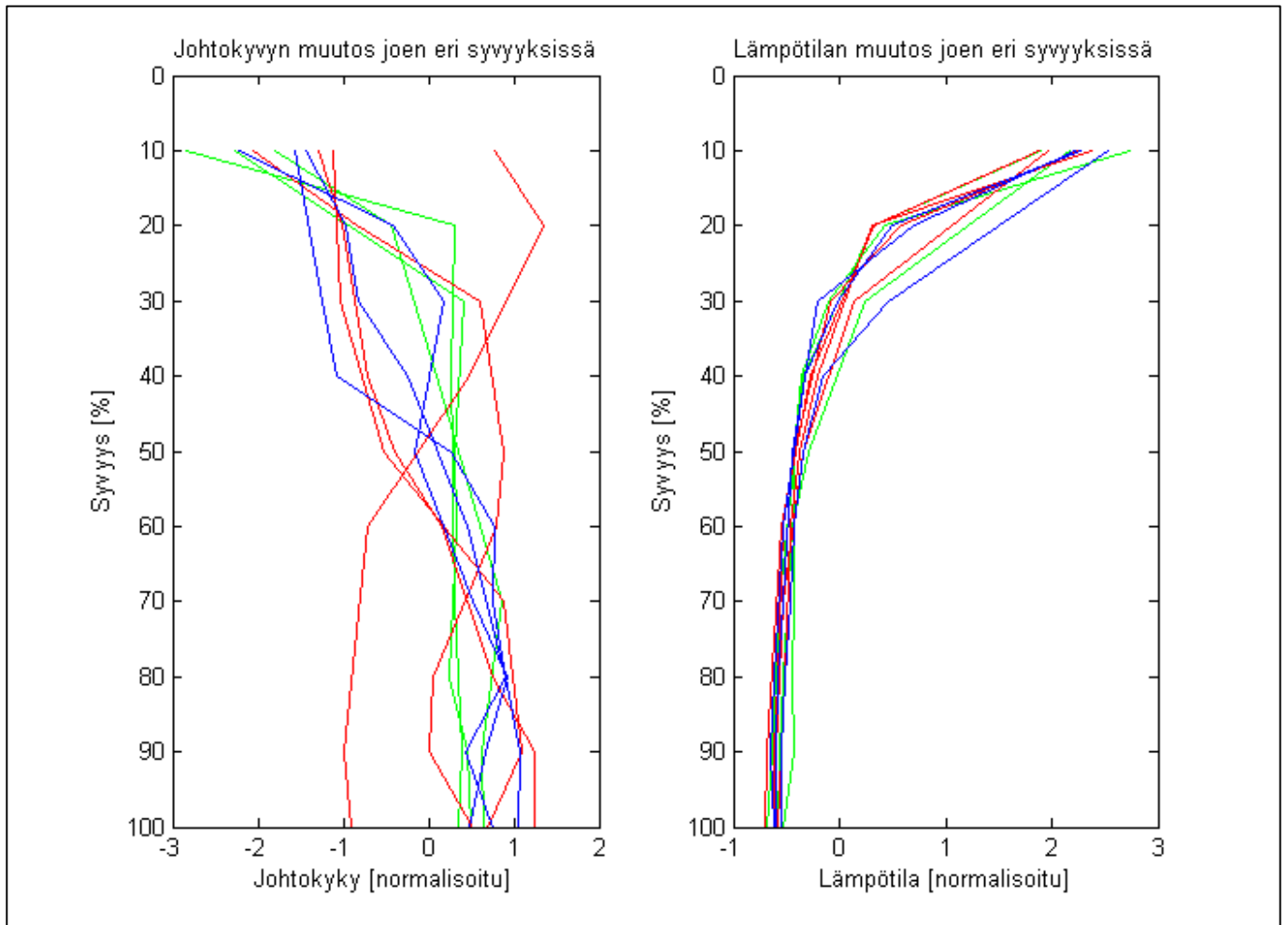
Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 17: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, prosessivesien purkupiste.



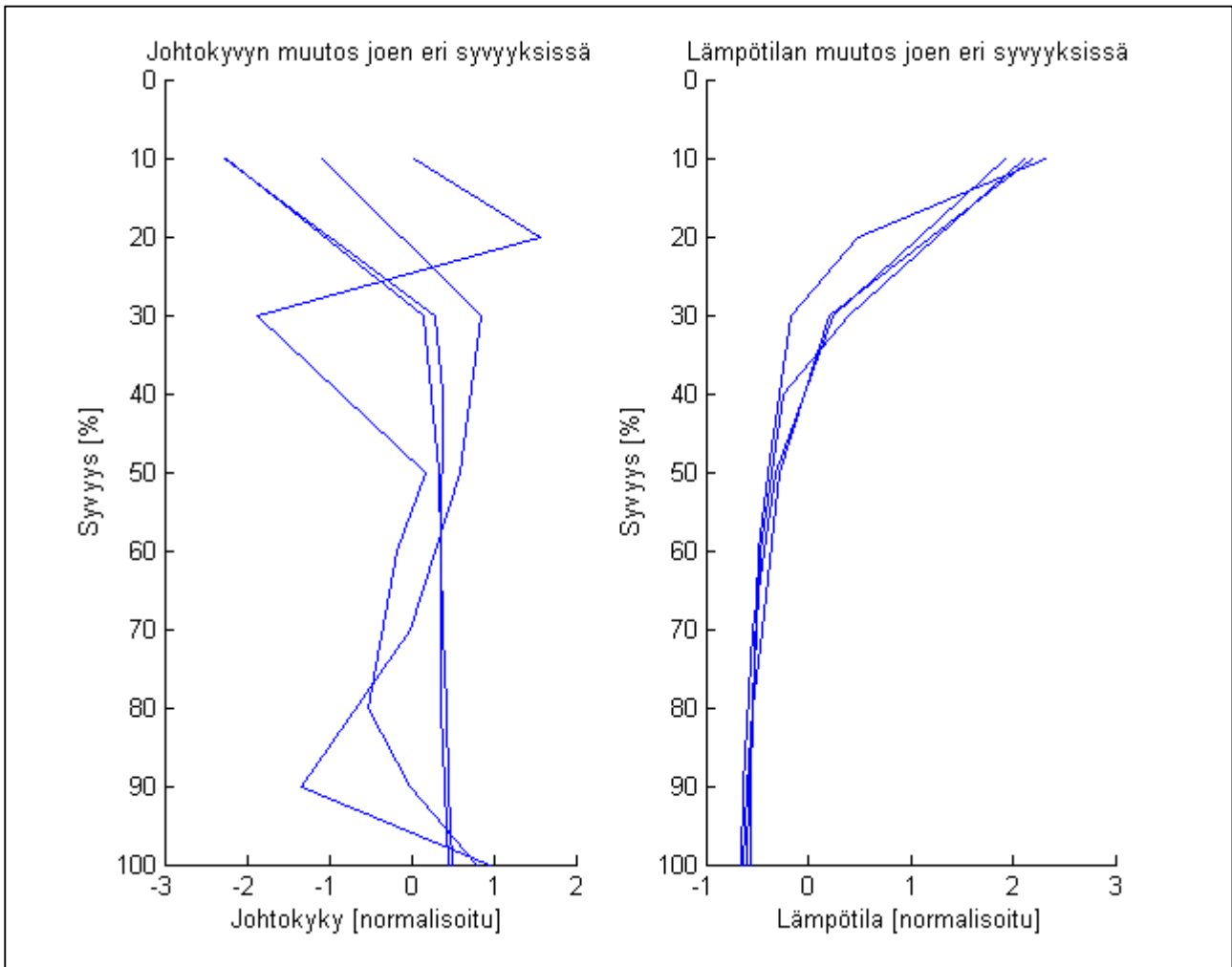
Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 18: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, kuivatusvesien purkupiste.



Vihreät käyrät kuvastavat tilannetta ennen purkupistettä, punaiset purkupisteen kohdalla ja siniset purkupisteen jälkeen. Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.

LIITE 19: Sähkönjohtavuuden ja lämpötilan muutos, Seurujoki, syyskuu 2014, Lintulan kylä.



Kuviossa joen pinta on 0 %:n kohdalla ja pohja 100 %:n kohdalla.