



JOEN VESITASEEN JA VIRTAUKSEN VAIKUTUS AINEIDEN SEKOITTUMISESSA JA LAIMENEMISESSA KITILÄN KAIVOKSEN ALAPUOLISESSA VESISTÖSSÄ

Sähkönjohtavuus- ja virtausprofiilien mittaaminen Seurujoen uomapoikkileikkauksissa

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma		
Työn tekijä(t) Ari Matias Hämäläinen		
Työn nimi Joen vesitaseen ja virtauksen vaikutus aineiden sekoittumisessa ja laimenemisessa Kittilän kaivoksen alapuolisessa vesistöissä		
5.6.2015	Sivumäärä/Liitteet	60/12
Ohjaaja(t) Yliopettaja Pasi Pajula, lehtori Teemu Räsänen ja tutkija Soile Backnäs		
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Geologian tutkimuskeskus (GTK) / Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin Seurujoen vesitasetta ja Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivoksen vesistökuormituksen ilmenemistä Seurujoessa mittaamalla sähkönjohtavuutta ja virtausnopeutta joen poikkileikkausprofiileista. Tarkastelussa käytettiin ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) -menetelmään perustuvaa RiverSurveyor M9 laitetta, jolla voidaan mitata joen poikkileikkauksen virtausprofiili, sekä sähkönjohtavuuden mittaamiseen soveltuva CastAway CTD -laitetta. Opinnäytetyö tehtiin osana kansainvälistä SUSMIN-hanketta (Tools for sustainable gold mining in EU), jota koordinoi GTK (Geologian tutkimuskeskus). Viime vuosina kaivostoiminnan yhtenä merkittävänä ympäristöongelmana on ollut kaivosten vesitaseen ja alapuolisten vesistövaikutusten hallinta. Uusien tutkimusmenetelmien käyttöönotto on oleellista vesistövaikutusten tunnistamisessa ja vesien hallinnan kehittämisessä.</p> <p>Työn keskeinen tavoite oli määrittää Seurujoen vesitase noin 14 kilometrin matkalta kaivoksen yläjuoksulta Lintulan kylään, joka sijaitsee noin 7 kilometriä kaivosvesien purkupisteiden alapuolella, sekä tarkastella virtaaman muutoksia mittauspisteiden väleillä. Vesitaseen määrittämisessä käytettiin mitattua ja laskennallista virtaamatietoa. Laskennallinen virtaama määritettiin Seurujoen osavaluma-alueiden avulla, jotka oli rajattu ArcGis Hydrology -työkalulla. Laskennassa käytettiin vertailuarvona Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) Talvitienmukan virtaamamittausaseman tietoa. Mitatun virtaus- ja sähkönjohtavuusdatan yhdistäminen toteutettiin MatLab-ohjelmalla sopeuttamalla datat samanpituisiksi ja yhdistämällä virtausnopeus ja sähkönjohtavuus samaan kuvaajaan. Kenttämitaukset tehtiin elo- ja syyskuussa 2014.</p> <p>Tuloksena voidaan todeta, että avouomavirtausmittaus on haastavaa ja uoman muoto, sekä virtausolosuhteet asetavat rajoitetut ehdot luotettavan virtaamatuloksen saamiseksi. RiverSurveyor M9-laitte soveltuu kuitenkin hyvin avouomavirtausmittaukseen ja sillä mittaaminen on ajallisesti nopeaa, mutta vaatii ammattitaitoa ja laitteen teknistä tuntemista. CastAway CTD -laitte toimii yhtä hyvin vaakasuuntaisessa profiloinnissa kuin pystysuuntaisessa, johon se on suunniteltu. Virtausnopeuden ja sähkönjohtavuuden yhdistäminen on mahdollista MatLab-ohjelmalla ja kuvaajan avulla voidaan tulkita sähkönjohtavuuden jakautuneisuutta uoman vesimassassa, sekä virtausnopeuden vaikutusta sähkönjohtavuuteen.</p> <p>Vesitaselaskenta osoittaa, että Seurujoessa tapahtuu uomassa virtaavan vesimäärän vähenemistä kaivoksen lähellä Kolvakosken ja Rossinmukan välisellä jokiosuudella molempina tarkasteluajankohtina. ELY:n Talvitienmukan mitta-aseman virtaamatieto poikkeaa M9-laitteella mitatusta virtaamasta. Kaivokselta johdettava prosessivesi laimenee sähkönjohtavuuden perusteella mitattuna noin 400 metrin matkalla tasaisesti koko uoman vesimassaan, kun taas kuivatusveden laimeneminen on hitaampaa. Korkeammat liuenneet metallipitoisuudet pysyttelevät kaivoksen puoleisella rannalla muutaman kilometrin matkan kuivatusveden purulta alavirran suuntaan. Kaivosvesien vaikutuksesta Seurujoen sähkönjohtavuus nousi tämän tutkimuksen perusteella noin 100 - 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jonka suuruuteen vaikuttaa olennaisesti purettavien vesien määrä ja joen virtaama.</p>		
Avainsanat RiverSurveyor M9, ADCP, virtaamamittaus, vesitase, CastAway CTD, sähkönjohtavuus, uomaprofiili, kaivosvesi		

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Ari Matias Hämäläinen			
Title of Thesis Impact of Water Balance and Flow Profile on Mixing and Diluting Substances in the Recipient River of Kittilä Mine			
Date	June 5, 2015	Pages/Appendices	60/12
Supervisor(s) Mr. Pasi Pajula, Principal Lecturer, Mr. Teemu Räsänen, Lecturer and Mrs. Soile Backnäs, M.Sc. (Tech.)			
Client Organisation /Partners Geological Survey of Finland (GTK) / Agnico Eagle Finland Oy Kittilä Mine			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the water balance of the River Seurujoki and how the dissolved concentrations of metals and sulphate are mixed and diluted in the river from the mine waters of Agnico Eagle Finland Oy Kittilä mine. The effect of mine water discharges was investigated through several cross-sectional profiles of conductivity using the CastAway CTD apparatus in the river. RiverSurveyor M9 device that uses ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) technology was used to study the flow velocity changes in the cross-sections. The utility of combining these profiling methods to study migration of mine waters were field-tested in this study. The thesis is part of the international SUSMIN project (Tools for sustainable gold mining in the EU), coordinated by Geological Survey of Finland (GTK). The main environmental impact of the mining industry is the mine water load on the downstream waters creating the need to investigate monitoring methods to identify effects in the recipient water.</p> <p>The main aim of the study was to determine the balance of the River Seurujoki catchment area from headwaters to the bridge of Lintula village, a distance of seven kilometers downstream from mine water discharge points, and to survey the flow rate changes between the measuring points. The determination of the water balance based on the measured flow rate data and theoretical calculation. The calculation was based on sub-watersheds, which were defined with ArcGIS-Hydrology Tools. ELY center's (Centre for Economic Development, Transport and the Environment) flow measurement in Talvitiemukka was part of the water balance calculation. The measured flow and conductivity data were processed with MatLab to adapt the lengths of the data to get them fixed in one graph. The field measurements were done in August and September 2014.</p> <p>According to the ADCP surveys, open channel flow measurement is challenging. The shape of the channel and flow circumstances such as strong turbulent set strict limits on reliable discharge measurements. However, RiverSurveyor M9 is suitable for open channel flow measurements and the method makes it quick to accomplish but it is necessary to have advanced skills and technical knowledge of the device. CastAway CTD is designed for bathymetric profiling but according to the result of this thesis, the device is also well suitable for horizontal profiling at the cross-section of the river. Measured flow velocity and conductivity are parameters that can be processed with Matlab to gain access to analyze horizontal conductivity fluctuation and the influence of flow velocity on the conductivity changes in the channel cross-section.</p> <p>Water balance calculation indicates that loss of water in the River Seurujoki can be observed along the mining district area where open pits and underground mine are located. The discharge results of ELY's flow measurement station in Talvitiemukka differ with M9 results. Process water is completely diluted and mixed in the river within a distance of 400 meters downstream whereas mine drainage waters of the mine dilutes sluggishly. A higher concentration of dissolved metals remains at the mine side of the river for about 2 kilometers to the downstream from the discharge point. According to results achieved in this thesis, the influence of the mine waters increases the conductivity of the River Seurujoki by 100 - 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ which is highly affected by the discharge volumes of mine waters and the total discharge of the River Seurujoki.</p>			
Keywords RiverSurveyor M9, ADCP, flow measurement, water balance, CastAway CTD, conductivity, channel cross-section, mine water			

ESIPUHE

Kiitän työn toimeksiantajaa Geologian tutkimuskeskusta ja SUSMIN-hanketta mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta opinnäytetyön aiheesta. Työn ohjauksesta haluan kiittää teitä Soile Backnäs, Pasi Pajula ja Teemu Räsänen. Ilman asiantuntemustanne työ olisi ajautunut jo alkumetreillä karille ja vajonnut Seurujoen pyörteisiin. Muistan kirkkaasti ajatukset lopputyön kirjoittamisesta ja sen kaukaisuudesta kenttämittauksissa Seurujoen rannoilla kesällä 2014. Ne räntäsateet ja hellepäivät ovat enää vain muisto. Vuosi on vierähtänyt ja työ näyttää uhkaavasti valmiilta.

Ohjaajien lisäksi kiitos kuuluu Claude Flenerille asiantuntemuksesta virtaamamittauksissa sekä selvästä sähköpostiviesteistä, jotka valaisivat ADCP-mittausmenetelmän ymmärtämistä. Kiitos myös laitteiston vuokrasta ja yhteistyöstä GWM-Engineering:lle. Haluan kiittää erityisesti Emmy Härmäläistä, työstit lopputyötäsi esimerkillisesti viereisellä työpöydällä ja loit uskoa työni valmistumiseen, sekä olit pelkkänä korvana silloin, kun vastoinkäymiset tuntuivat ylivoimaisilta. Taloudellisesta tuesta opintojeni aikana haluan kiittää Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä, sekä Kittilän kaivosta.

Kuopiossa 5.6.2015

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KOHTEEN KUVAUS	9
2.1	Seurujoki ja sen valuma-alue	9
2.2	Kaivostoiminnan kuvaus	10
2.3	Kaivosvedet	13
2.4	Purkupisteet	13
3	VIRTAAMAN JA SÄHKÖNJOHTAVUUDEN MITTAAMINEN AVOUOMAVIRTAUKSESSA.....	16
3.1	Avouomavirtaus	16
3.2	Virtaaman mittaaminen avouomassa	16
3.2.1	ADCP-virtaamamittaus.....	19
3.2.2	RiverSurveyor M9.....	20
3.2.3	Flow Tracker	22
3.2.4	Muut hyödynnettävät virtaama-aineistot	23
3.3	Sähkönjohtavuuden mittaaminen	27
3.3.1	CastAway CTD -mittaus	28
3.3.2	CastAway CTD -laite.....	28
3.3.3	CastAway CTD vaakasuuntaiset poikkileikkaukset.....	29
3.4	Virtaama- ja sähkönjohtavuusmittausten yhdistäminen uoman poikkileikkauksessa	30
3.5	Mittaustapahtumien kuvaus	30
4	SEURUJOEN VALUMA-ALUE JA VESITASE	34
4.1	Valuma-alueen rajaus.....	34
4.2	Osavaluma-alueet	34
4.3	Mittauspisteiden yläpuoliset valuma-alueet	37
4.4	Vesitaseen laskenta.....	37
5	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	39
5.1	Vesitasetarkastelu.....	39
5.2	Virtausprofiilit ja sähkönjohtavuus.....	45
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	55
	LÄHTEET	58
	LIITE 1: Seurujoen tutkimusalue ja valuma-alue SYKE:n 3. jaon mukaan	61
	LIITE 2: Mittausraportti v15 kuivatusveden purun alapuolelta.....	62

LIITE 3: Mittausraportti v7 prosessiveden purun alapuolelta.....	63
LIITE 4: Mittausraportti v4 Talvitienmukka.....	64
LIITE 5: Mittausraportti v4b Talvitienmukka.....	65
LIITE 6: Mittausraportti v21 Lintula.....	66
LIITE 7: Mittausraportti v31 Lintula.....	67
LIITE 8: Mittausraportti kuivatusveden ojasta ennen PVK1-kenttää elokuussa.....	68
LIITE 9: Mittausraportit prosessiveden purulta Rimmin asemalta	69
LIITE 10: Mittauspisteen v4 Talvitienmukka yläpuolinen valuma-alue.....	70
LIITE 11: Pokan sääaseman sadantatiedot.....	71
LIITE 12: Virtausprofiilit mittauspisteiltä v7 ja v15 elokuussa.....	72

1 JOHDANTO

Kaivannaisteollisuus on vahvistanut asemaansa Suomen elinkeinorakenteessa viime vuodet. Uusia hankkeita ja selvityksiä on vireillä useita, mainittakoon niistä Sokli ja Suhanko. Luonnonvaroja hyödynnettäessä ympäristöön kohdistuva paine huomioidaan hankkeiden suunnitteluissa ja lupaehtoisissa, joilla kaivostoiminnan aiheuttamat vaikutukset pyritään pitämään viranomaisen asettamissa rajoissa. Viime vuosina kaivostoiminnan yhtenä merkittävänä ympäristöongelmana on ollut kaivosten vesitaseen ja alapuolisten vesistövaikutusten hallinta. Vesienhallinta onkin yksi keskeisin tekijä kaivostoiminnan aiheuttamien ympäristövaikutuksien minimoinnissa.

Kaivostoiminnasta aiheutuu ympäristövaikutuksia erityisesti prosessijätevesien sekä kuivatusvesien vesistökuormituksesta. Kaivosvedet voivat olla joko happamia tai neutraaleja sisältäen runsaasti vesien suolaantumista lisääviä mineraalisia aineita kuten sulfaattia ja mahdollisesti myös toksisia metalleja (esim. nikkeliä) ja metalleja (esim. arseenia ja antimonia). Viime vuosien kaivostoimintaan liittyneet vesistö päästöt kuten Talvivaaran kaivoksen kipsisakkaonnettomuus ja varastoitavien jätevesien määrän jatkuva kasvu ovat osoittaneet kaivosvesien vesitaseen ja vesipäästöjen ympäristövaikutusten arvioinnin ja ennakoitavuuden heikkoudet. Suomessa toiminnassa olevilla kaivoksilla prosessin ylijäämävesiä ja louhosten kuivatusvesiä käsitellään yleisesti kemiallisella saostuksella. Tämän jälkeen vedet ohjataan luonnon suokosteikolle, josta käytetään nimityksenä pintavalutus- kenttä, tai padotulle suolammelle, joiden tehtävänä on tasata virtaamia ennen alapuolista vesistöä, mutta myös passiivisesti puhdistaa kaivosvesiä kiintoaineksesta ja liukoista metalleista tai metalleista biogeokemiallisten reaktioiden kautta. Kemiallinen saostus, selkeytysaltaat ja kosteikat muodostavat useimmiten yhdessä kokonaisuuden veden puhdistusprosessiketjulle.

Tämä opinnäytetyö liittyy Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) johtamaan kolmivuotiseen SUSMIN-hankeeseen (Tools for Sustainable Gold Mining in EU), jonka tavoitteena on tutkia ja arvioida kultakaivoksien ympäristövaikutuksia ja taloudellisia haasteita EU:ssa, kehittää teknologioita kestäväan kultakaivostoimintaan, sekä lisätä rajoja ylittävää yhteistyötä.

Tässä työssä tarkastellaan Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kultakaivoksen ohi virtaavan Seurujoen vesitasetta ja virtaamia, sekä jokeen johdettavien prosessi- ja kuivatusvesien sekoittumista ja laime- nemista. Vedet johdetaan kaivokselta pintavalutuskenttien läpi painovoimaisesti Seurujoeseen. Tavoitteena on määrittää Seurujoen virtaamaa poikkileikkauksittain joen pituussuuntaan nähden kaivoksen lähetyvillä. Toisena tavoitteena on laatia samalle jokijaksolle vesitasemalli, joka pystyy en- nustamaan joen uomapoikkileikkauksissa virtaavan veden määrää valuntatietojen perusteella. Sa- moista joen poikkileikkauksista mitataan virtaaman lisäksi sähkönjohtavuus, millä pyritään muodos- tamaan käsitys kaivokselta purettavien vesijakeiden sekoittumisesta Seurujoeseen edettäessä uomaa purkupisteiltä alajuoksun suuntaan. Vesitase määritetään noin 14 km matkalta kaivoksen yläjuoksul- ta Lintulan kylään, joka sijaitsee noin 7 km kaivosvesien purkupisteiden alapuolella. Seurujoelle ei ole tehty aikaisemmin tarkkaa vesitasetarkastelua, jossa olisi huomioitu joen virtausolosuhteita ja virtausmääriä, sekä aineiden kulkeutumista. Virtaaman tarkka tunteminen on oleellinen tekijä poh-

dittaessa Seurujoen ekologista tilaa, kaivosvesien sekoittumista ja laimenemista, sekä toisaalta arvioidessa virtaamamittaukseen perustuvan ympäristölain mukaisen vesitalousluvan toimivuutta.

Työhön liittyvät maastomittaukset toteutetaan Seurujoella loppukesästä 2014. Virtausprofileja mitataan RiverSurveyor M9 -laitteella ja Seurujokeen laskevien ojien virtaamia Flow Tracker -laitteella. RiverSurveyor M9 -laitteen mittauspisteet valitaan GTK:n aikaisemmin tehtyjen mittausten ja vesinäytteenoton perusteella huomioiden uoman poikkileikkauksen muodon ja pohjan kasvillisuuden vaikutukset mittaukseen. Lisäksi työssä hyödynnetään Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen ylläpitämän jatkuvatoimisen virtausmittausaseman aineistoa kaivoksen yläjuoksulta, Talvitienmukasta. Kaivos monitoroi Seurujokeen johdettavia purkuvesiä jatkuvatoimisilla mitta-aseilla, joiden mitta-usaineisto on käytettävissä tässä työssä. GTK:n toimesta Seurujoesta laaditaan Suomen ympäristökeskuksen 3. valuma-aluejaon mukainen valuma-alue tarkastelu, jonka osavaluma-alueita hyödynnetään määrittäessä laskennallisia virtaamia joen mittauspisteiden poikkileikkauksien välillä. Tätä tietoa voidaan verrata uoman poikkileikkauksista mitattuihin virtaaman arvoihin.

Sähkönjohtavuutta mitataan poikkileikkausprofileista RiverSurveyor M9 mittauksien yhteydessä CastAway CTD -laitteella. Laite mittaa lämpötilakorjattua sähkönjohtavuutta janamittauksena, joka ilmentää muun muassa vedessä olevien elektrolyyttien eli sähkönjohtavuutta kohottavien metallionien ja anionien, kuten sulfaatin määrää. Tämän mittauksen tavoitteena on selvittää kaivoksen purkuvesien sekoittumis- ja laimenemisnopeutta, sekä kaivoksen kokonaisuormituksen suhteellista määrää eli mille tasolle Seurujoen sähkönjohtavuus tasoittuu kaivoksen alapuolella.

RiverSurveyor M9 laite käyttää ADCP-tekniikkaa (Acoustic Doppler Current Profiler), jota on käytetty merivirtojen ja suistoalueiden tutkimiseen 1990-luvulta asti (Yorke ym. 2002, 191). Laitteiden tekniset ominaisuudet ovat kehittyneet viime aikoina ja markkinoilla on muutamia laitevalmistajia (SonTek, RDI, Nortek). ADCP-tekniikalla voidaan mitata liikkuvasta aluksesta pistemittauksena uoman virtausnopeutta uomapoikkileikkauksessa. River Surveyor -mittalaitetta on käytetty virtauksien tutkimiseen sekä suolaisissa (Cristiansen 2013; Scully ja Greyer 2012), että makeissa vesistöissä (Williams, Brasington, Hicks, Measures, Rennie, Vericat 2013; Szupiany, Amsler, Best ja Parson 2007). Myös ADCP-virtaamamittaus -menetelmän ja CastAway CTD -vaakaprofilointi menetelmän soveltamiset luotettavaan avouomavirtausmittaukseen kuuluvat tavoitteisiin.

2 KOHTEEN KUVAUS

2.1 Seurujoki ja sen valuma-alue

Seurujoki sijaitsee Kittilän kunnan alueella Lapin maakunnassa. Joki on noin 50 kilometriä pitkä ja kuuluu Ounasjoen vesistöön. Seurujoki saa vetensä Pokantien varressa sijaitsevasta Seurujärvestä ja Suasjärvestä Ison-Kuotkon lounaispuolelta. Se laskee Loukiseen, josta edelleen Ounasjokeen. Seurujoen valuma-alueen (liite1) pinta-ala on 307 km² ja järvisyys 0,27 % sekä soiden osuus 30 % (OIVA 2015). Valuma-alue on pääosin metsää ja suota (Pöyry 2012, 88). Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) OIVA-tietokannasta saatujen Talvitienmukan virtaama-aseman havaintotietojen mukaan Seurujoen virtaamat ovat olleet taulukon 1 mukaiset vuoden 2008 alusta lähtien. Virtaamatiedot ovat tarkistettu SYKE:n toimesta 31.12.2011 asti ja sen jälkeisiä virtaamia ei ole tarkastettu eli ne ovat poimittu tarkastamattomina SYKE:n Hertta-tietojärjestelmästä.

Taulukko 1. Virtaamat Seurujoessa (OIVA 2015.)

Virtaama Q (m ³ /s)	2008	2009	2010	2011	2008 - 2011	2012	2013	2014	2008 - 2014
Maksimi virtaama	22,2	27,88	34,48	20,8		39	22,94	11,77	
Minimi virtaama	1,33	1,46	0,84	0,83		1,5	1,12	1,29	
MNQ (keskialivirtaama)					1,12				1,20
MHQ (keskiylivirtaama)					26,34				25,58
MQ (keskivirtaama)					4,32	4,80	3,74	2,25	4,01

Ilmastollisen luokituksen mukaan Seurujoki sijaitsee subarktisella vyöhykkeellä (Aluehallintovirasto 2013, 13). Alueen ilmastoon vaikuttaa lämpimän Golf-virran haara, Pohjois-Atlantinvirta sekä manta-reiset korkeapaineet. Vuoden keskilämpötila alueella on ollut keskimäärin -1,7 °C vuosina 1971 - 2000. Sadanta alueella on ollut pitkällä aikavälillä keskimäärin noin 516 mm vuodessa ja haihdunta 200 - 300 mm (Pöyry 2012, 87). Kittilän Pokan havaintoaseman mukaan vuonna 2014 kesäkuukausina (kesä - syyskuu) satoi vettä yhteensä 272,5 mm. Elokuun vuorokauden keskilämpötila oli elokuussa 12,0 °C ja syyskuussa 6,4 °C vuonna 2014. (FMI 2015.)

Seurujokea on perattu 1960-luvulla metsäteollisuuden uittoja varten, joka on muuttunut joen virtausolosuhteita merkittävästi, etenkin joen koskiosuuksilla. Toinen alueen vesistöjen tilaa pysyvästi muuttanut tekijä on metsäojitukset. Seurujoella on tehty kalataloudellisia kunnostustoimia uittosäännön kumoamisen jälkeen, jolla tarkoitetaan lähinnä keskialueiden muokkauksia entiselleen (Pöyry 2012, 88.) Joessa on putouskorkeutta tutkimusosuudella lähes 20 metriä ja joen tutkimusalueen pituus on tässä työssä noin 14 kilometriä (liite 1). Keskikaltevuudeksi saadaan noin 1,3 m/km.

Seurujoen lisäksi Loukisen valuma-alueeseen kuuluvat itäpuolella sijaitsevat Leppäojan ja Rourajoen valuma-alueet. Edellä mainitut kolme valuma-aluetta muodostavat Loukisen valuma-alueen. Maasto jokien lähetyvillä on tasaista ja melko soistunutta. Meandroivien jokien uomissa on vähäistä gradienttia ja siitä johtuen virtausvoimakkuudet ovat pieniä. (Lapin Vesitutkimus 2001, 41.)

Seurujoen luontainen veden laatu on arvioitu siihen liittyvissä tutkimuksissa hyväksi, vaikka virallista luokitusta ei ole tehty. Joki on tyypillinen Lapin kirkasvetinen latvavesi, jonka vesi on väritöntä, kirkasta ja niukkaravinteista. Alue kuuluu Kittilän vihreäkivivyöhykkeeseen, jossa maaperän metallipitoisuudet ovat hieman ympäristöä korkeampia. Elektrolyytit nostavat lievästi joen sähkönjohtavuutta ja vesi on hieman emäksistä pH:n ollessa n. 7 - 8. Loukinen ja Ounasjoki ovat ELY-keskuksen luokituksen mukaan erinomaisessa tilassa. (Pöyry 2012, 90.)

Seurujoen alue kuuluu suovyöhykkeeltään Peräpohjolan aapasoihin, joita on Kittilän kunnan alueella noin 50 % pinta-alasta. Seurujoen valuma-alueen rehevimmät ja biodiversiteetin kannalta arvokkaimmat suotyyppit esiintyvät kaivoksen lähetyillä Löytöjängän länsiosissa ja Rouravuoman länsi- ja eteläosissa. Näiden suotyyppiluokitukset ovat pienialaiset koivuletot, lettorämeet, ja rimpiletot. Kaivosalueen vallitseva metsätyyppi on tuoretta kangasta, jotka peittävät harjanteet ja korkeammat maastonkohdat. (Aluehallintovirasto 2013, 13.)

Alueen maaperä on pohjamooreenia, joka on vallitseva maalaji koko Kiistalan karttalehden 2743 05 alueella. Pohjamooreeni koostuu paikallisesta hiekkaisesta ja kivisestä moreenista, koska viimeisen jääkauden jäänjakaja-alue ulottui Seurujoen paikkeille ja siksi kulkeutumismatkat jäivät lyhyiksi. Kallioperä kuuluu Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeeseen. Kallion pinnassa on vaihtelevan paksuinen rapautumiskerros, joka on usein rikkonaista. Yleensä maapeitteen paksuudet ovat muutamia metrejä, mutta seismisten luotausten perusteella rapautuma- ja ruhjealueilla voivat olla jopa 20 metriä. Kaivospiirin alueella turvetta on enimmäkseen 1-2 metriä. (Aluehallintovirasto 2013, 13.)

2.2 Kaivostoiminnan kuvaus

Agnico Eagle Finland Oy:n omistaa kanadalainen emoyhtiö Agnico Eagle Mines Limited. Yhtiöllä on 9 kaivosta kolmessa eri valtiossa, Canadassa, Meksikossa ja Suomessa. Kittilän kultaesiintymä on Euroopan suurin tunnettujen kultaesiintymien mukaan ja malmia louhitaan vuosittain noin 1,1 miljoonaa tonnia (Aluehallintovirasto 2013, 19). Kaivoksen toiminnan on arvioitu kestävän vuoteen 2034 saakka, perustuen tämän hetkisiin tunnettuihin malmivaroihin. Vuotuinen kullantuotanto on yli 5 000 kg. Kaivos työllistää yhteensä noin 500 työntekijää ja on merkittävä työnantaja Lapissa. (Piekkari 2014-05-01.)

Kaivoksen rakentaminen aloitettiin 2006 ja rikastamon tuotanto käynnistettiin 2009. Suurkuusikon avolouhosta louhittiin vuoteen 2012 saakka, jonka jälkeen se on suljettu. Rouravaaran avolouhosta louhittiin vuosina 2010 - 2012, jonka jälkeen se on toiminut kaivoksen vesienhallinnassa kuivatusvesien tasausaltaana. Maanalaisen kaivoksen louhinta aloitettiin 2010 ja tällä hetkellä louhintaa tehdään noin 750 metrin syvyydellä maanpinnan tasoon verrattuna (Ramboll 2015, 2). Maanalaisessa toiminnassa käytetään ns. välitasolouhintaa. Malmiesiintymä jaetaan eri tasoille omiin louhoksiin, joissa louhinta etenee alhaalta ylöspäin louhos kerrallaan. Tyhjat louhokset lujitetaan pastatäyttö tekniikalla, jossa louhos täytetään rikastushiekkamateriaalilla sekä siihen lisätyillä kovettamisaineilla. (Aluehallintovirasto 2013, 20 - 21.) Kaivos jalostaa malmin kultaharkoiksi rikastamalla, jossa malmi

käsitellään seuraavilla prosesseilla: murskaus, jauhatus, vaahdotus, autoklaavihapetus, syanidiliuotus ja absorbointiaktiivihieleen, aktiivihieleen talteenotto, kullan elektrolyysi ja rikastushiekan käsittely (Aluehallintovirasto 2013, 19).

Karttatarkastelussa (kuva 1) on esitetty alueen ilmakuva, josta selviää eri toimintojen sijoittuminen kaivosalueella tässä työssä tarkasteltavan Seurujoen suhteen. Maanalainen tunneliverkosto sijoittuu Suurkuusikon- ja Rouravaaran avolouhoksen väliin jäävälle alueelle. Rakenteilla oleva toinen vino-tunneli maanalaiseen tunneliverkostoon näkyy ilmakuvassa Rouravaaran avoulouhoksen länsipuolella, johon soratie päättyy.



Kuva 1. Kittilän kultakaivoksen alueen yleiskartta (GTK)

2.3 Kaivosvedet

Kaivokselta johdetaan kahdentyyppistä vettä Seurujokeen, maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksien kuivatusvettä, sekä prosessivettä, joka on lähtöisin rikastamolta. Kuivatusvedet koostuvat sade- ja sulamisvesistä, sekä pohjavesistä. Niitä puretaan laskeutusaltaan (MK-allas) läpi pintavalutuskenttä kolmen (PVK3) kautta pintavalutuskentälle 1 (PVK1), josta ne purkautuvat viuhkana luonnon oijen kautta edelleen Seurujokeen. Ympäristölupapäätöksessä (61/10/1) määrätään, että kuivatusveden virtaama saa olla enintään 5 % Seurujoen virtaamasta. Laskeutusta MK-altaassa tehostetaan kemiallisesti ferrisulfaattilla. Kuivatusvesiä hyödynnetään rikastamalla ja maanalaisessa kaivoksessa porave- tenä. Ruoravaaran avolouhos toimii kuivapitovesien välivarastona. (Ramboll 2015, 4.)

Rikastamon ja rikastushiekka-aldaiden välillä on vesienkierrätys. Rikastamalla käytettävästä vedestä oli noin 67 % kierrätettyä vettä vuonna 2014. Rikastamalla käytetään myös kuivatusvettä ja Seurujoesta pumpattavaa raakavettä. Rikastushiekka-altaasta NP3 johdetaan prosessivettä pintavalutus- kentälle 4 (PVK4) Rimmin mitta-aseman kautta, josta vedet purkautuvat yhden purkuoijan kautta edelleen Seurujokeen. Alla esitetyssä taulukossa 2 on tällä hetkellä voimassaolevan ympäristöluvan (61/10/1) mukaiset purkumäärät prosessivedelle. (Ramboll 2015, 5.)

Taulukko 2. Prosessiveden kuukausittaiset ympäristöluvan mukaiset enimmäispurkumäärät (Ramboll 2015, 5.)

Kuukausi	NP3-altaalta johdettava enimmäisvirtaama, m ³ /h
joulukuu, tammikuu, helmikuu	150
maaliskuu, huhtikuu	100
toukokuu, kesäkuu	300
heinäkuu, elokuu, syyskuu	90
lokakuu, marraskuu	200

Kaivos pumpppaa raakavettä Seurujoesta, jonka yläraja on ympäristöluvan (61/10/1) mukaan 180 (m³/h). Kaivoksen uudessa ympäristöluvassa laajennusta koskien (joka ei ole tällä hetkellä lainvoi- mainen) on raakavedenoton yläraja 250 (m³/h). Vesi käytetään kokonaisuudessaan rikastamon pro- sesseihin. (Aluehallintovirasto 2013, 129.)

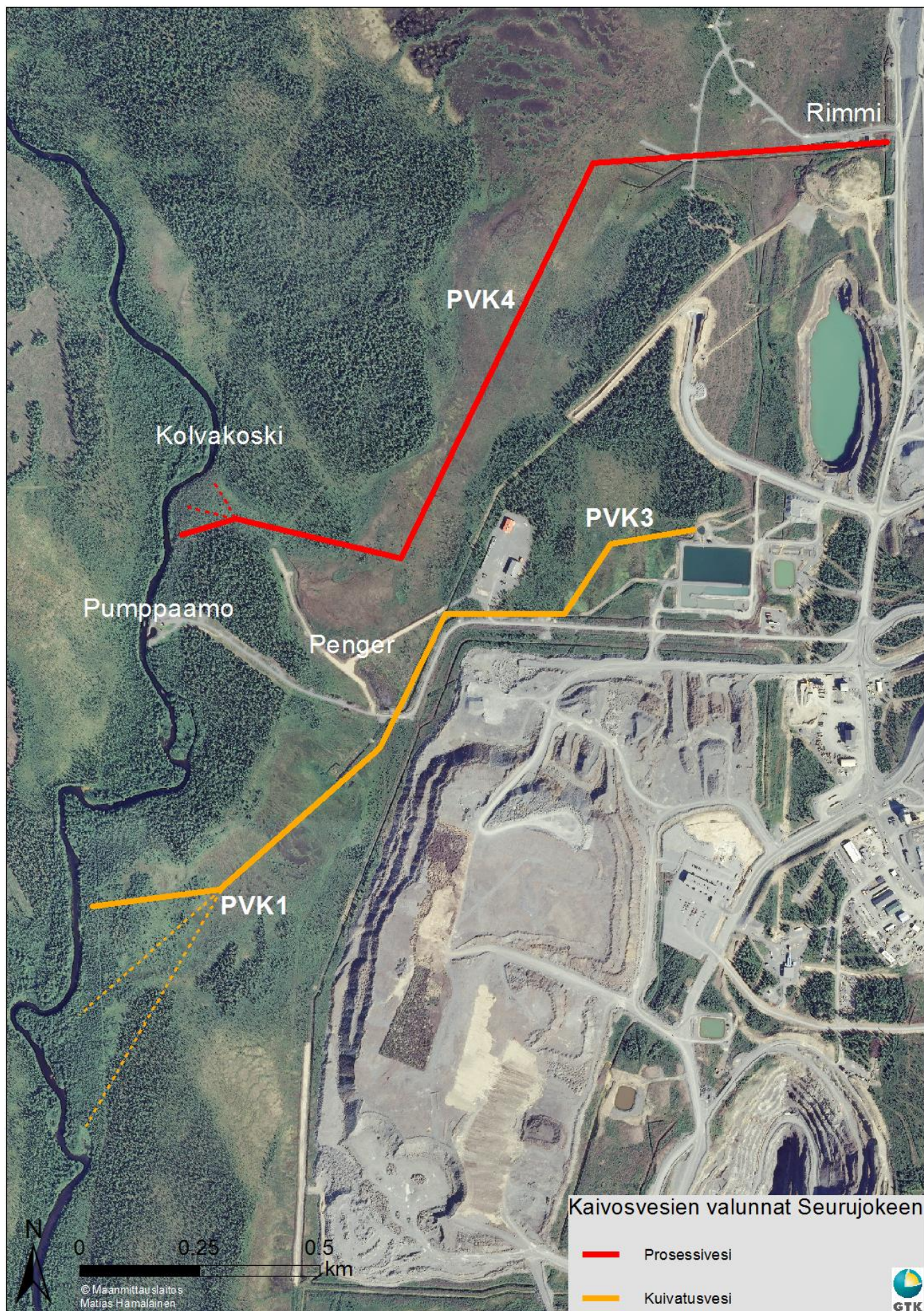
Pintamaiden läjitysalueella muodostuu sade- ja sulamisvesiä. Nämä vedet johdetaan pintavalutus- kentän 2 (PVK2) kautta Seurujokeen (Ramboll 2015, 6). Vesimäärät ovat olleet kuitenkin niin pieniä, että jatkuvaa monitorointia on mahdoton toteuttaa ja purkuoja pysynyt toistaiseksi suurimman osan vuodesta kuivana (Hämäläinen 2014-08-29).

2.4 Purkupisteet

Prosessivedet johdetaan Rimmin mitta-asemalta rakennettuun ojaan, jota pitkin ne virtaavat pinta- valutuskentälle 4. Pintavalutuskentän 4 ja pintavalutuskentän 1 väliin on rakennettu maapenger, jo- ka estää vesien sekoittumisen kentältä toiselle. Prosessivesi purkautuu Seurujokeen yhden pur- kuoijan kautta, joka on merkitty kuvan 2 karttaan punaisella viivalla. Vähäistä purkautumista tapah-

tuu myös pääpurkupisteen yläpuolella Kolvankosken loppuosassa lähinnä sateisina ajanjaksoina. Nämä purkukohtat on merkitty karttaan punaisella katkoviivalla. Pintavalutuskentän 4 purun kohdalla joki on noin 12 metriä leveä ja virtaamalla $2,61 \text{ m}^3/\text{s}$ virtauksen keskinopeus on $0,34 \text{ m/s}$. Joki on syvimmillään purkupisteen kohdalla $0,8$ metriä (liite 3).

Kuivatusvedet virtaavat painovoimaisesti pitkin rakennettua uoma pintavalutuskentälle 3 pintavalutuskentältä 1. Pintavalutuskentältä 1 on valumasuunta länteen ja lounaaseen kohti Seurujokea. Kuivatusvedet purkautuvat Seurujokeen useasta eri kohdasta (Hämäläinen 2015, 51). Purkukohtat on esitetty kuvassa 2. Keskeisin kuivatusvesien purkureitti on merkitty karttaan oranssilla viivalla. Tässä kohdassa vesi purkautuu pienessä uomassa loivalta jokipenkältä alas. Purkautumista on havaittavissa myös uoman lähetyvillä ala- ja yläpuolella. Keväällä sulamisvesien vaikutuksesta tai pitkän sateisen jakson seurauksena suoalue vettyy, jonka seurauksena purkautumista tapahtuu laajemmalla alueella pääpurkupisteen alapuolella. Nämä kohdat on merkitty karttaan oranssilla katkoviivalla. Seurujoki on kuivatusvesien pääpurkupohdan alapuolisella suoralla verrattain matala, maksimisyvyyden ollessa $0,74$ metriä. Uoma on tällä suoralla leveydeltään noin 21 metriä ja runsasta pohjakasvillisuutta esiintyy koko uoman leveydeltä. Joen keskimääräinen virtausnopeus on purkupisteen kohdalla $0,28 \text{ m/s}$ virtaaman ollessa $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$ (liite 2).



Kuva 2. Kaivosvesien purkautumisreitit ja -kohdat Seurujokeen (GTK)

3 VIRTAAMAN JA SÄHKÖNJOHTAVUUDEN MITTAAMINEN AVOUOMAVIRTAUKSESSA

3.1 Avouomavirtaus

Luonnonuomassa virtaava vesi on alttiina ilmakehän paineelle. Virtauspoikkileikkauksen vapaa pinta, johon ilmakehän paine vaikuttaa, erottaa putkivirtauksen ja avouomavirtauksen toisistaan. Nesteen ja kaasun välillä on rajapinta, jossa ilmakehän tiheys on merkittävästi pienempi kuin avouomassa virtaavan veden tiheys. Avouomavirtauksen määrittämisessä käytetään hydraulikan periaatteita ja yhtälöitä, joita sovelletaan erilaisiin virtausolosuhteisiin. Avouomavirtaus voidaan luokitella erilaisiin ryhmiin ajan tai paikan suhteen. Stationäärisessä eli ajan suhteen muuttumattomassa virtauksessa (steady flow) uoman ominaisuudet ja vesisyvyys eivät muutu tarkastelujaksolla. Se tarkoittaa, että virtauspoikkileikkaus pysyy vakiona ja pohjan kaltevuus on yhtenevä vedenpinnan kaltevuuden kanssa. Tästä seurauksena vesisyvyys, keskimääräinen virtausnopeus ja virtaama ajan funktiona ovat vakioita. Epästationäärisessä virtauksessa (unsteady flow) vesisyvyys tai veden virtausnopeus muuttuu ajan suhteen tarkasteluvälillä. (Karvonen 2012, 12.)

Paikan suhteen mukaan luokiteltaessa avouomavirtaus ryhmitellään tasaiseen (uniform flow) ja muuttuvaan virtaukseen (varied flow/nonuniform) sen mukaan, muuttuuko virtauksen vesisyvyys tarkastelujaksolla uoman eri kohdissa. Muuttuva virtaus voidaan edelleen ryhmitellä tasaisesti muuttuvaan (gradually varied flow) ja nopeasti muuttuvaan (rapidly varied flow) virtaukseen. Tasaisesti muuttuvassa virtauksessa virtauksen ominaisuudet muuttuvat paikan suhteen hitaasti, kun taas nopeasti muuttuvassa virtauksessa vesisyvyys muuttuu äkillisesti lyhyen matkan sisällä. Toisin sanoen virtaus on niin kauan tasaisesti muuttuvaa, kunnes nopeus virtaussuunnassa uoman eri kohdissa alkaa vaihdella. (Chaudhry 2007, 4 - 7.)

Joissa ja puroissa uoman pituuskaltevuus ja poikkileikkaus vaihtelee, ja siksi virtaustyyppi on lähes poikkeuksetta epästationääristä virtausta. Virtausnopeuden vaihteluun poikkileikkauksessa vaikuttavat muunmuassa uoman seinämien kitka, vapaa vesipinta ja uoman geometria. Avouomavirtauksen laskennan perusteita ovat massan-, energian- ja liikemäärän säilymislaicit. Ratkaisumenetelmät riippuvat tarkastellaanko ajan suhteen muuttuvaa vai muuttumatonta tilannetta. (Tuukkanen 2010, 12.)

3.2 Virtaaman mittaaminen avouomassa

Virtaamaa mitataan vesitekniikan tarpeisiin monissa yhteyksissä. Tässä työssä virtaamaa mitataan ympäristön tutkimisen ja ympäristövaikutusten pienentämisen näkökulmasta. Virtaama määritellään tietyn uomapoikkileikkauksen läpi virtaussuuntaan virtaavaksi vesitilavuudeksi aikayksikössä (m^3/s). Luonnonuomassa tehtävässä mittauksessa yleensä määritellään uoman poikkileikkauksen pinta-ala ja poikkileikkauksen keskinopeus tietyissä uoman pisteissä. Virtaama Q saadaan siis seuraavasta yhtälöstä (kaava 1). (Karvonen 2003, 1.)

$$Q = vA \quad (1)$$

missä

v on keskimääräinen virtausnopeus (m/s) ja

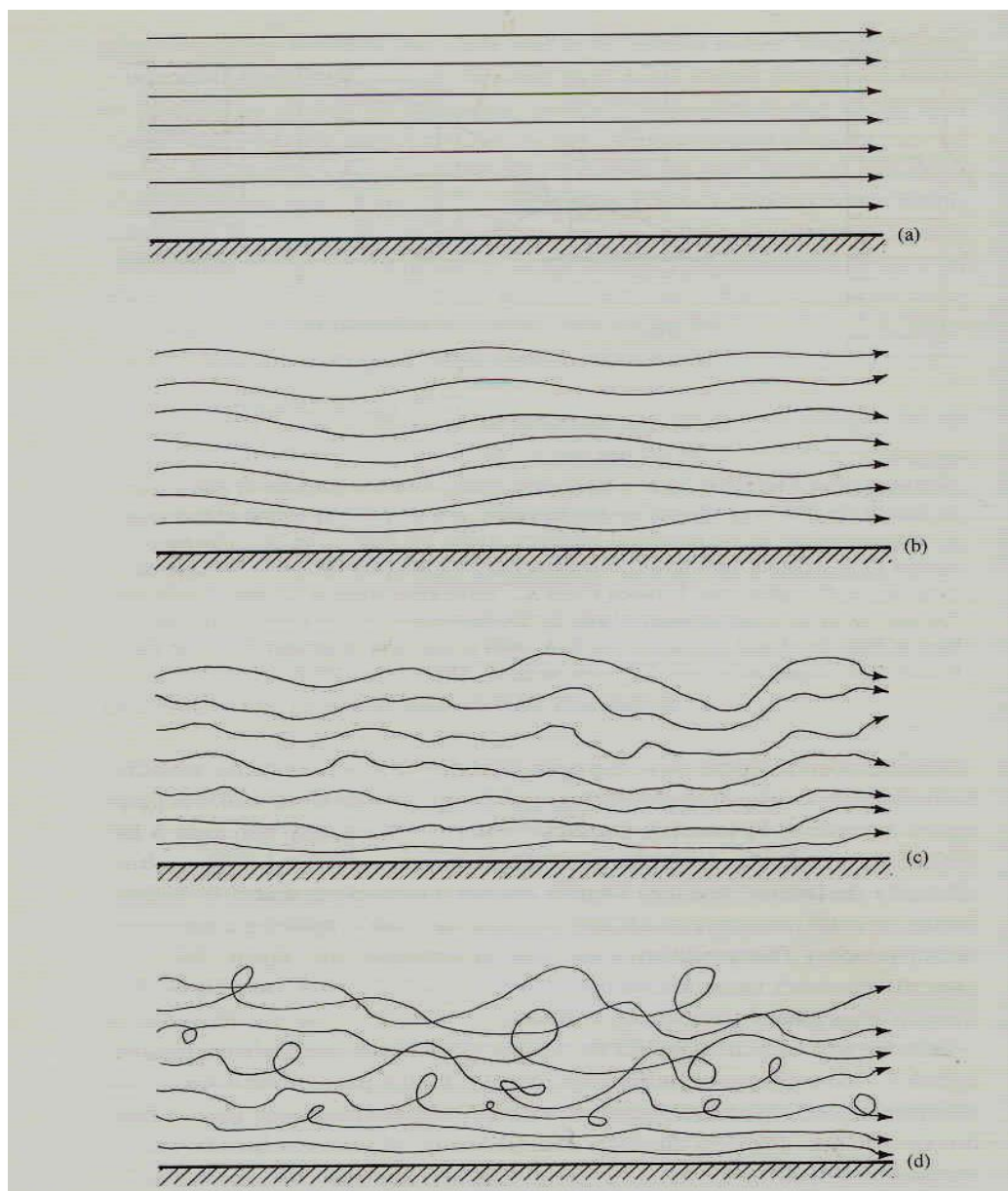
A on uoman veden täyttämän virtauspoikkileikkauksen pinta-ala (m²).

Joessa virtaavaa vettä voidaan käsitellä useimmissa tilanteissa yksidimensionaalisena avouomavirtauksena, jossa vesisyvyys ratkaistaan yleensä uoman pituussuunnassa. Virtauksen saa aikaan painovoima, joka siirtää vettä uoman kaltevuusprofiilin mukaan. Tunnusomaisena piirteenä avouomavirtauksessa voidaan pitää sitä, että vedenpinta on avoin ja sillä vallitsee ilmanpaine. Luonnonuomissa virtaukseen vaikuttaa myös monia muita tekijöitä, joita voidaan asettaa tärkeysjärjestykseen voiman suuruuden mukaan. Alla on listaus avouomavirtaukseen vaikuttavista voimista tärkeysjärjestyksen mukaan.

1. painovoima
2. turbulenssiin liittyvä voima
3. tuuli
4. keskipakovoima
5. Coriolis eli maan pyörimisestä johtuva näennäinen voima
6. pintajännitys
7. viskositeetti

Näistä voimista tuuli ja pintajännitys vaikuttavat vain vedenpinnalla. Muiden voimien vaikutus jakautuu tasaisemmin ja niitä esiintyy muun muassa pohjassa, reunoissa ja rajapintojen lähellä. (Huttula 2008, 1-2)

Virtauksen ominaisuuksia ja fysikaalista luonnetta voidaan kuvata eri tavoin. Seuraavat ryhmittelyt ovat opinnäytetyön kannalta keskeisiä. Kun kriteerinä pidetään nestepartikkeleiden liikerataa, ryhmitellään virtaustyyppi joko laminaariseksi tai turbulenttiseksi. Laminaarisessa virtauksessa yksittäiset nestemolekyylit eivät sekoitu keskenään, koska niiden virtaviivat eivät risteä viereisten virtauskerrosten molekyyliden kanssa. Virtausta voidaan havainnollistaa suorilla viivoilla (kuva 3 (a)). Turbulenttisisä virtauksessa tapahtuu sekoittumista, joka on sekä pysty-, että sivuttaissuuntaista nestekerrosten välillä ja vesipartikkeleiden liikeradat risteävät (kuva 3 (d)). Virtausmallit b ja c ovat siirtymäalueen välitiloja (kuva 3). (Huttula 2008, 3.)



Kuva 3. Eri virtaustyyppien havainnollistaminen, a) laminaarinen virtaus, b) ja c) laminaarisen ja turbulenttisen virtauksen välimuodot, d) turbulenttinen virtaus (Huttula 2008, 4.)

Luokittelu turbulenttisen ja laminaarisen virtauksen välillä perustuu turbulenssiin liittyvän voiman ja viskositeettiin liittyvän voiman suhteiden laskemiseen kiihtyvyyden avulla. Suhdetta kuvataan Reynoldsin luvun avulla Re (kaava 2), joka avouomavirtauksen tapauksessa kirjoitetaan yhtälömuodossa (Huttula 2008, 4):

$$Re = \frac{uy}{\nu} \quad (2)$$

missä

y on uoman syvyys (m),

u on veden keskimääräinen virtausnopeus (m/s) ja

ν on veden kinemaattinen viskositeetti (m^2/s).

3.2.1 ADCP-virtaamamittaus

Ultraääneen perustuvia akustisia ADCP-virtaamamittauslaitteita (Acoustic Doppler Current Profiler) on käytetty jo 1960-luvulla. 1990-luvulla tuli käyttöön veneeseen kiinnitettävät akustiset virtaaman mittaukseen kehitetyt laitteistot ja ohjelmistot, jotka mahdollistivat nopean virtaamamittauksen suorittamisen joissa. ADCP-menetelmän tarkkuutta on tutkittu ja kehitetty erilaisille virtausolosuhteille ja sitä on sovellettu hydrodynamiikan ja morfologian tutkimiseen (Jamieson, Rennie, Jacobson ja Townsend 2011). Mittaus perustuu äänen Doppler-siirtymään. Virtaamaprofiilin syvyyden ja veden virtausnopeuden määrittäminen tapahtuu lähettämällä korkeataajuisia ultraäänipulsseja pohjaa kohti eri lähtökulmilla ja sen jälkeen analysoimalla pohjasta takaisin heijastuvia kaikuja. ADCP-mittaus on veden virtausnopeuden osalta epäsuoramittausmenetelmä, koska mittaus perustuu veden mukana kulkeutuvien partikkeleiden ja hiukkasten nopeuteen, joista kaiut heijastuvat takaisin sensoriyksikköön (Flener 2015, 22). Mittaus perustuu yleensä kolmen tai useamman ultraäänipulssin jatkuvaan ja samanaikaiseen lähettämiseen taajuusvälillä 750 - 3000kHz (Yorke 2002, 191). Mittaus toistetaan luotettavuuden varmistamiseksi riittävän useasti, jonka jälkeen ohjelmisto laskee vielä rantakorjauksen. (Korhonen 2007, 13.)

Akustisen mittauksen haasteellisuus perustuu sen tekniikan asettamiin vaatimuksiin uoman virtauspoikkileikkauksen ominaisuuksien suhteen. Poikkileikkaus ja virtaussuunnat tulisi olla mahdollisimman tasaisia mitattavassa kohdassa. Kohtia joissa uoma on suora ja muodoltaan symmetrinen tulisi suosia. Uoman kohta, jossa on akanvirta, pyörteisyyttä, kumpuamista, turbulenssia tai jyrkkiä uomaseinämiä pitäisi välttää ilmenevien mittauserävarmuus tekijöiden vuoksi. Mikäli mittaus kuitenkin halutaan tehdä vaikka edellä mainittuja piirteitä esiintyy, tulee tehdä toistomittauksia. Laitteesta riippuen uoman syvyydet määritetään kolmen tai neljän, samanaikaisen kaiun perusteella ja siksi loivia pohjan muotoja tulisi suosia mittauksissa. Rantaan jäävän katvealueen virtauksen tulisi olla vähäistä, jotta mittaamaton alue jää mahdollisimman pieneksi laskennalliseen rantakorjaukseen. (Korhonen 2007, 13.)

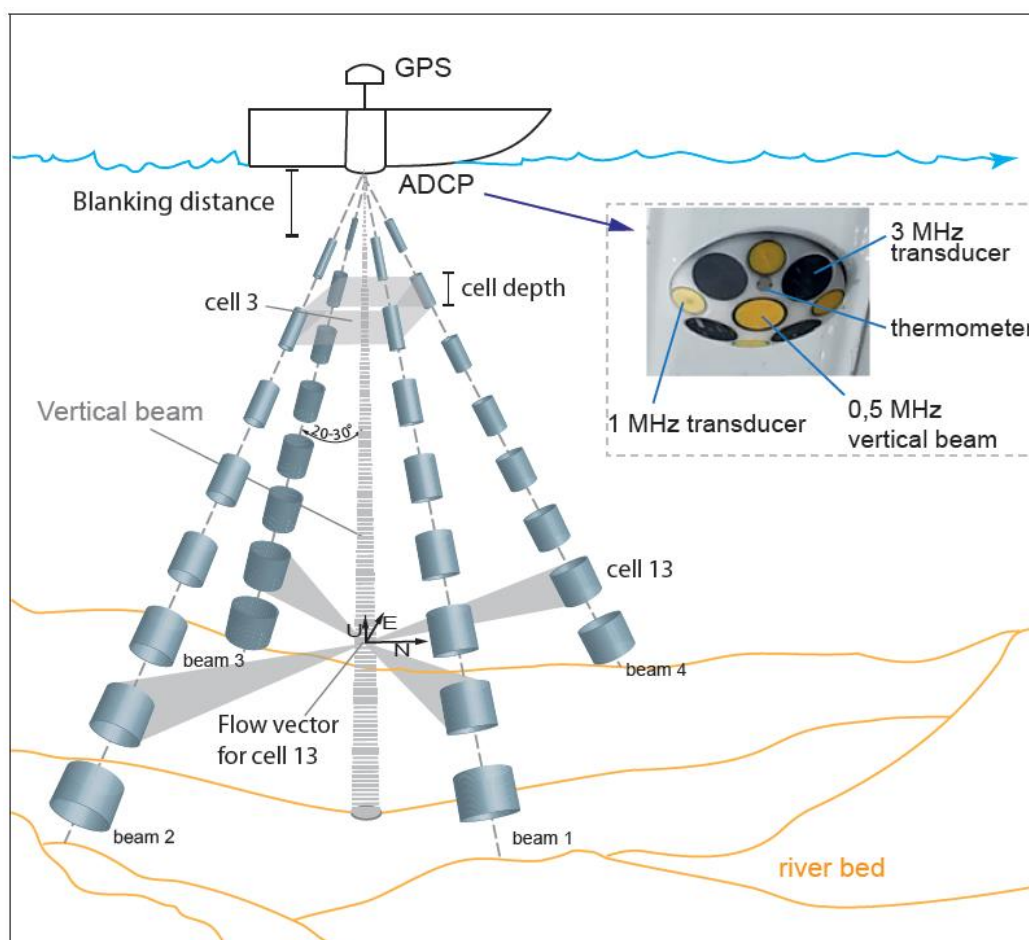
Merkittävä etu ADCP-mittauksissa muihin virtausmittausmenetelmiin verrattuna on sen mahdollistama mittaus liikkuvasta aluksesta. Menetelmä hyödyntää paikkatietoja, jotta se voi laskea kompensations mittausalueen aiheuttamasta liikkeestä virtauksen ja virtaussuunnan laskemiseen. Paikkatieto saadaan sensorilta, joka lähettää pystysuuntaisia kaikuja (vertical beam). Laite käyttää aluksen nopeuden määrittämiseen mittauskohdan Doppler-siirtymän viimeistä pohjasta takaisin heijastuvaa kaikua. Tässä oletetaan, että joen pohja on paikallaan oleva, eikä siellä esimerkiksi virtaa pohjasedimenttiä tai liikehdi runsasta kasvillisuutta. Toisaalta jos pohjalla tapahtuu pohjasedimentin kulkeutumista, voidaan ADCP-laitteella monitoroida päinvastoin pohjasedimentin kulkeutumista stationäärisesti vedenpinnalta virtausmittauksen sijasta. (Flener 2015, 24.)

Jos ADCP-mittausta verrataan stationääriseen- tai siivikkomittaukseen, voidaan todeta että jälkimmäiset ovat huomattavasti tarkempia menetelmiä mittauksen kestäessä 40 - 50 sekuntia mitattavaa uoman poikkileikkausta kohden. Toisaalta mittaushavaintojen kokonaismäärä eli mitatut pikselit, jolla tarkoitetaan resoluutiota, on ADCP-mittauksessa moninkertaisesti suurempi. ADCP-mittauksessa

saadaan luotettavuutta mittauksen toistettavuudella, jota voidaan joiltain osin verrata siivikkomittauksen keston. (Flener 2015-04-16.)

3.2.2 RiverSurveyor M9

RiverSurveyor M9 on Yhdysvaltalaisen SonTek Inc:n valmistama ADCP-tekniikkaan perustuva virtausmittauslaite. Se on patentoitu USA:n patenttirekisteriin (U.S. Patent #8,125,849) ja patentti on saanut hyväksynnän 28.2.2012. Laite monitoroi jatkuvatoimisesti veden virtausnopeutta ja syvyyttä sekunnin aikaresoluutiolla. Kaikuluotainyksikkö lähettää useita eritaajuisia akustisia kaikuja samanaikaisesti ja prosessoi reaaliaikaisesti mitattuja arvoja saavuttaakseen mahdollisimman edustavan mitaustuloksen (U.S. Patent #8,411,530). Käyttäjä saa mittauksesta raportin ja 2-D poikkileikkausprofiilin uoman mittaustuloksesta. (Sontek 2010, 1.)



Kuva 4. Havainnekuva ADCP-mittaustekniikasta (Flener 2015, 23.)

RiverSurveyor M9 käyttää kolmea eri kaikutaajuutta lähettimessä (3.0 MHz, 1.0 MHz, 0.5 MHz). Kaikuluotain yksikössä on kaikkiaan yhdeksän kaikuanturia, jotka keilaavat yhdeksään eri suuntaan käyttäen jotakin kolmesta kaikutaajuudesta (kuva 4) (Sontek 2011, 4). 0.5 MHz taajuutta käytetään syvyyden keilaamiseen. M9:n prosessori hyödyntää samanaikaisesti lähetettyjä eritaajuisia kaikutyyppisiä saavuttaakseen järjestelmän parhaan suorituskyvyn. Kaikujen erilaiset aikaviiveet (ping types) ja laitteen prosessointimenetelmät, pohjan seuranta ja karakterisointi, sekä suora- ja epäsuora-keilaus ($\sim 25^\circ$) ovat jatkuvasti prosessoituna laitteen keskusyksikössä laajakaistatekniikkaa hyödyn-

täen. Laitte valitsee vallitseviin olosuhteisiin sopivimmat taajuudet ja myös eri taajuuksien samanaikainen käyttö on mahdollista, kuten edellä mainittiin. Laitteen optimaalisen taajuuden valikointi valitseviin syvyysolosuhteisiin perustuu pulssin aikaviiveeseen. (Sontek 2010, 110 - 111.)

Huomioitava mittausteknillinen seikka liittyy sensoriyksikön välittömään läheisyyteen jäävään katvealueeseen, "blanking distance" (kuva 4). Jatkuvia kaikuja lähettävän sensoriyksikön välittömässä läheisyydessä tapahtuu kaikujen jälkivärähtelyä, joka on kuitenkin huomioitu laskennallisesti interpoloimalla katvealue mittaustuloksissa. Sen vaikutus virtausmittaustarkkuuteen loppuu kokonaan 0,5 metrin etäisyydellä laitteesta (Flener 2015, 24). Laitte mittaa syvyyttä ja virtausnopeutta kerran sekunnissa ja päivittää mittaustapaa ja käytettäviä taajuuksia muuttuvien olosuhteiden mukaan automaattisesti. Seuraavassa listassa esitetään laitteen valmistajan antamat reunaehdot eri aallonpituuksien käyttöön liittyville mittaolosuhteille. Laitteen mittaus mukautuu automaattisesti vaihteleviin olosuhteisiin. (SonTek 2011, 110.)

3.0 MHz taajuus 2 cm resoluutiolla

- maksimisyvyys noin 1,5 m
- 1,5 metrin syvyydessä maksimivirtausnopeus 0,4 m/s, nopeuden maksimiarvo kasvaa huomattavasti pintaa kohden

1.0 MHz taajuus 6 cm resoluutiolla

- maksimisyvyys noin 5 m
- 5 metrin syvyydessä maksimivirtausnopeus 0,4 m/s, nopeuden maksimiarvo kasvaa huomattavasti pintaa kohden
- syvyyden ollessa vähemmän kuin 5 metriä ja virtausnopeuden enemmän kuin yllä, laite käyttää 3.0 MHz epäkoherenttia keilausviivettä resoluutiolla, joka määräytyy hetkellisen syvyyden mukaan
 - o 10 cm resoluutio, kun syvyys vähemmän kuin 2 metriä
 - o 20 cm resoluutio, kun syvyys 2 - 4 metriä
 - o 40 cm resoluutio, kun syvyys enemmän kuin 4 metriä
- syvyyden ollessa enemmän kuin 5 metriä, laite käyttää 1.0 MHz epäjohdonmukaista keilausviivettä resoluutiolla, joka määräytyy hetkellisen syvyyden mukaan
 - o 50 cm resoluutio, kun syvyys vähemmän kuin 10 metriä
 - o 1 m resoluutio, kun syvyys 10 - 20 metriä
 - o 2m resoluutio, kun syvyys enemmän kuin 20 metriä

RiverSurveyor M9 käyttää SmartPulseHD® -tekniikkaa, joka on saanut patenttirekisteri hyväksynnän (U.S. Patent #8,780,672) (SonTek 2015). Laitteiston mukautuminen mittaolosuhteisiin perustuu keskusyksikköön ohjelmoituihin laskenta-algoritmeihin, jotka mukauttavat akustiset pulssit ottamalla huomioon syvyyden, virtausnopeuden ja virtauksen turbulenssin. Tekniikan perustana on siis algoritmi, joka mukauttaa akustisten pulssien järjestyksen mitattuihin syvyys-, nopeus- ja turbulenssietietoihin. Korkeimman virtausmittausresoluution saavuttamiseksi laite hyödyntää monikaistais-

ta ultraääniakustiikkaa, pystysuoraa ja vinoa keilausta, sekä laajakaistatekniikkaa. Tämä mahdollistaa 2-D virtauspoikkileikkausprofiilissa tarkimmillaan 2 cm ruutukoon eli mittausresoluution, jolloin ehtona on, että vesisyvyyden tulee olla alle puolitoista metriä ja virtausnopeuden alle 0,4 m/s. (SonTek 2011, 110.)

Mittauslaite (kuva 5) on asennettu kelluttavaan alustaan, joka on kooltaan noin 1 m x 0,6 m. Laitteiston keskusyksikköön on liitetty myös GPS, jonka paikannustarkkuus vaakatason suhteen on valmistajan ilmoituksen mukaan ± 1 m. Mittauslaite ja sitä ohjaava ohjelmisto (RiverSurveyor Stationary Live V 3.7) kannettavassa tietokoneessa, ovat jatkuvassa Bluetooth-yhteydessä koko mittaustapah-tuman ajan.



Kuva 5. RiverSurveyor M9 laitteisto (GTK)

3.2.3 Flow Tracker

Flow Tracker -virtausmittauslaite on myös SonTekin valmistama. Se on ollut hydrologisissa tutkimuksissa käytössä 2000 luvun alusta lähtien ja se on osoitettu monissa tutkimuksissa luotettavaksi mittausmenetelmäksi avouomissa, jotka ovat syvyydeltään alle metrin (SonTek 2007). Laitteisto

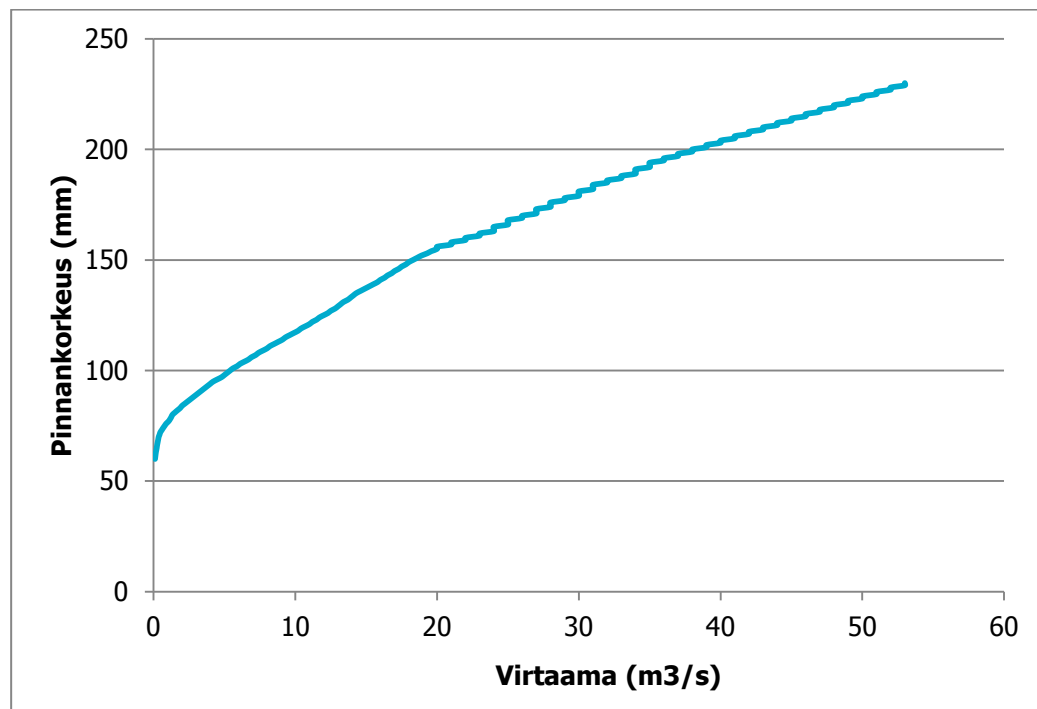
koostuu käsiohjaimesta ja mittatangosta, sekä niitä yhdistävästä kaapelista, jotka näkyvät kuvassa 6. Mittaustekniikka perustuu ADV-menetelmään (Acoustic Doppler Velocimeter) ja mittaumenetelmä muistuttaa monilta osin perinteistä siivikkomittausta. Laitteeseen syötetään käsin mitatut uoma-poikkileikkauksen leveys- ja syvyytiedot jokaisesta mitattavasta uoman kohdasta. Laitte soveltuu monenlaisten uomavirtaamien mittaamiseen, joissa virtausnopeudet ovat välillä 0,001 - 4,5 m/s. Ohjelmisto laskee automaattisesti kokonaisvirtaaman algoritmien avulla, joilla on USGS (U.S. Geological Survey) ja ISO hyväksynyt (Huhta 2007). Laitte luo mittauksesta mittauspöytäkirjan, joka on heti mittauksen jälkeen luettavissa päätteen LCD-näytöltä tai myöhemmin saatavilla Flow Trackerin ohjelmistosta, kun mittaustiedot ovat siirretty tietokoneelle. Laitteen mittausrésoluutio on 0,001 m/s ja tarkkuus ± 1 % mitatusta virtausnopeudesta (SonTek 2007).



Kuva 6. Flow Tracker -mittaus Kuoksusojalla (GTK)

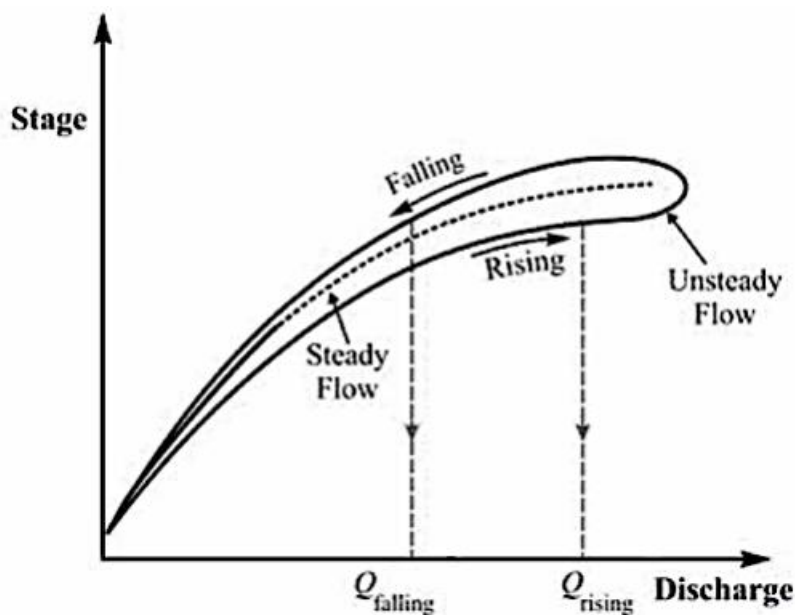
3.2.4 Muut hyödynnettävät virtaama-aineistot

Tässä työssä hyödynnetään kesällä 2014 tehtyjen mittauksien lisäksi Lapin Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) ylläpitämää virtausmittausasemaa, joka sijaitsee Seurujoessa kaivoksen yläpuolella Talvitiemukassa. Asema on automaattinen ja tiedon siirto tapahtuu langattomasti. Virtaamamittaus perustuu niin sanottuun purkautumiskäyrämenetelmään (kuvio 1), jossa avouoman siivikkomittauksella on luotu yhteys vedenpinnan korkeuden ja virtaaman välille. Tyypillisesti purkautumiskäyrän käyttöön perustuvat kenttämittaukset ja aseman perustaminen tehdään virtavesien koskiosuukien yläpuolella koskenniskan lähetyville, jossa virtaus on jo muuttunut kiitovirtaukseksi. Purkautumiskäyrän luomisen jälkeen virtaaman suuruutta voidaan arvioida pelkän vedenpinnan korkeustiedon perusteella. Mittauksen tarkkuus riippuu suuresti purkautumiskäyrän laadinnan tarkkuudesta ja uoman talvi- ja kesäaikaisista ominaispiirteistä. (Korhonen 2007,14.)



Kuvio 1. Talvitienmukan purkautumiskäyrä Seurujoen virtaaman määrittämiseen (OIVA 2015.)

Purkautumiskäyrämenetelmän tarkkuuden arvioinnin yhteydessä voidaan pohtia virtaaman hystereesiin vaikutusta, joka ilmenee voimakkaimmin epästationäärisessä virtauksessa (unsteady flow) pituuskaltevuudeltaan tasaisten uomien poikkileikkauksissa (Kumar 2011, 554 - 555). Virtaaman hystereesi-ilmiö tapahtuu, kun uoman poikkileikkaustarkastelussa pituuskaltevuus muuttuu äkillisen vedenpinnan nousun tai laskun vaikutuksesta, jonka voi aiheuttaa esimerkiksi intensiivinen sade tai kevättulva. Tämän seurauksena pinnankorkeuden nousun ja laskun, sekä virtaaman välistä yhteyttä voidaan pitää viiveellisenä ja samalla niiden yhteyden välistä lineaarista riippuvuutta ei voida pitää aukottomana (kuva 7). Todellinen virtaama tarkasteltavassa poikkileikkauksessa on siis enemmän vedenpinnan nousu vaiheessa ja päinvastoin vähemmän vedenpinnan laskiessa.



Kuva 7. Purkautumiskäyrä ja hystereesi (GWM-Engineering 2015.)

Virtaamatiedot Talvitienmukan purkautumiskäyrään (kuvio 1) ovat mitattu 10 metriä paineanturilta yläjuoksulle, jonka kohta näkyy kuvassa 12. Kuvassa 8 on näkymä samasta kohdasta alavirran suuntaan. Seurujoen pohjassa olevan paineanturin mittausresoluutio on neljä kertaa tunnissa ja laite lähettää tuntikohtaisen keskiarvon ELY-keskuksen järjestelmään. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta, mihin varsinainen virtaaman vuorokausikohtainen keskiarvo tallentuu, käyttää paineanturin mittaamaa tuntikeskiarvoa (Salminen 2015-04-01). Pinnankorkeusmittauksen tarkkuus on ± 2 mm, mutta purkautumiskäyrän tarkkuudelle ELY ei ole esittänyt arviota. Mitta-aseman kunnossapito ja vedenpinnankorkeuden säännöllinen mittaustarkistus kuuluvat kaivoksen ympäristöntarkkailuohjelmaan.



Kuva 8. Näkymä Talvitienmukan mittausasemalta alavirtaan (GTK)

Purkautumiskäyrällä tarkoitetaan yhteyttä vedenpinnankorkeuden ja virtaaman välillä. Käyrä kuvaa vedenkorkeuden ja virtaaman välistä suhdetta luonnonuomassa. Vedenpinnan korkeustiedolla voidaan lukea purkautumiskäyrästä virtaama (m^3/s). Purkautumiskäyrä voidaan laatia tapauskohtaisesti mittaamalla virtaama ja havainnoimalla vedenkorkeus, jos uoman kohta täyttää hydrauliset ehdot. Mittauksia tarvitaan erilaisista virtaamatilanteista 5...10 (Kukkonen 2012, 14). Jotta ehto täyttyy, pitää uoman pysyä ajallisesti muuttumattomana ja vedenkorkeushavaintopisteen alapuolella vallitsevan virtaustyyppin pitää olla kiitovirtausta. Kiitovirtauksessa virtausnopeus on suurempi kuin uomassa etenevän häiriöaallon nopeus, kun taas verkkavirtauksessa virtausnopeus on pienempi kuin uomassa etenevän häiriöaallon nopeus (Huttula 2008, 3). Tällöin virtaama määräytyy yksiselitteisesti kiitovirtaus kohdan yläpuolisen vedenpinnankorkeuden perusteella. Kiitovirtaus pätee, kun seuraava yhtälö (kaava 3) toteutuu (Korhonen 2007, 14):

$$v > \sqrt{gy} \quad (3)$$

missä

v on veden virtausnopeus (m/s),

g on maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s^2) ja

y on vesipatsaan syvyys (m).

Kaivos monitoroi Seurujokeen purettavien prosessi- ja kuivatusvesien määrää avouomavirtausmittaukseen kehitetyillä kolmiopatokaivolla ja ultraääneen perustuvilla mittakaivolla. Kolmiopatokaivon virtaama lasketaan paineanturilla mitattavan vedenpinnan korkeustiedon perusteella. Kaivoksella on käytössä myös ultraäänitekniikkaan perustuva virtausmittaus pintavalutuskentältä 3 pintavalutuskentälle 1 lähtevässä ojassa (kuva 9) ja nykyään myös uusitussa asemassa, joka sijaitsee MK-altaalta (kuivatusvesien lasketusallas) pintavalutuskentälle 3 lähtevässä ojassa. Mitta-asemilla kaivos monitoroi purettavien vesien virtaamia ja laatuparametreja (mm. kiintoaine, sameus ja lämpötila). Kesällä 2014 MK-altaan mitta-asema oli vielä Thompsonin v-pato tekniikalla toteutettu, mutta mittaustekniikka vaihdettiin ultraäänimittaukseen perustuvaksi lokakuussa 2014. Kaivos käyttää MK-altaan mitta-asemaa virallisena kuivatusveden mitta-asemana. Ultraäänimittausasema koostuu dataloggerista, ultraäänimittauslaitteesta, avouomaan asetettavasta vettä padottavasta mittausputkesta sekä akuista ja aurinkopaneelista. Virtausmittauksen tarkkuus on noin $\pm 2...3$ % mittausalueesta. Prosessiveden purkua monitoroidaan Rimmin altaalla jatkuvatoimisella Thopsonin v-patomittauksella. Mittaus perustuu pinnankorkeusanturiin ja dataloggeriin. Asemat ovat jatkuvatoimisia ja niiden tulokset ovat luettavissa reaaliaikaisesti datapalvelimelta. (EHP-Tekniikka 2013.)



Kuva 9. Pintavalutuskentän 3 jälkeinen oja ja kuivatusvesien jatkuvatoiminen mitta-asema kuvattuna ylävirtaan MK-altaalle päin (GTK)

3.3 Sähkönjohtavuuden mittaaminen

Sähkönjohtavuuden mittaamisella luonnonvesissä voidaan tutkia vedessä olevien liuenneiden suolojen määrää (esim. natrium, kalium, kalsium, magnesium, kloridi, sulfaatti). Kaivosvesiin liuenneet alkali- ja maa-alkalimetallit sekä sulfaatti nostavat sähkönjohtavuutta Seurujoessa (Hämäläinen 2015, 6). Tässä työssä sähkönjohtavuutta mitataan CastAway CTD -laitteella (Conductivity, Temperature and Depth) uomapoikkileikkauksessa vaakasuuntaisesti aikasarjamittauksena (5 mittausta sekunnissa) yhdessä vesisyvytydessä pohjan muotoja mukailleen. CastAway CTD -laitetta ei ole aikaisemmin käytetty tutkimuksissa, joissa tarkastellaan vaakasuuntaisia sähkönjohtavuuden arvoja aikasarjamittauksena uomapoikkileikkauksessa. Mittausten tueksi otetaan vesinäytteitä Seurujoesta kaivosvesien

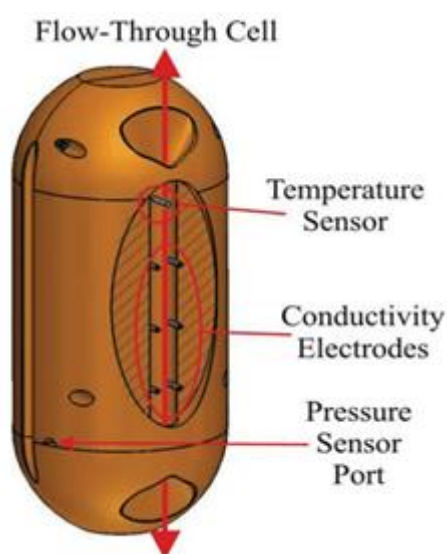
purkupisteiden ylä- ja alajuoksulta. Näytteiden laboratorioanalyysituloksilla voidaan tarkentaa miten eri aneiden pitoisuudet vaikuttavat sähkönjohtavuuteen.

3.3.1 CastAway CTD -mittaus

CastAway CTD -laitetta käytetään merentutkimuksissa, hydrografisissa tutkimuksissa, sekä hydrologisissa tutkimuksissa veden suolaisuuden ja luonnonvesien sähkönjohtavuutta muuttavien epäpuhtauksien seurantaan. Myös biologit käyttävät laitetta tutkimuksissaan kalojen elinympäristön säännöllisessä tarkkailussa. Laite on ollut markkinoilla syksystä 2010 lähtien ja sitä on käytetty lähinnä merivesissä. CastAway CTD -laitetta on käytetty esimerkiksi Kolumbiajoen suistoalueen hydrodynamiikan tutkimiseen ja syvyysuuntaisen kartoituksen laadintaan olosuhteissa, joissa joen huippuvirtaama keväällä on korkeimmillaan. Tutkimukseen liittyi myös Yhdysvaltojen geologian tutkimuskeskuksen (USGS) kokeilu soveltaa 3D -mallinnusta vuorovesi-ilmiön ennustamisessa. (Gelfenbaum, Macmahan, Reners, Edwin 2014.) CastAway CTD -laitetta on hyödynnetty lisäksi vuoroveden aiheuttaman virtaaman tutkimuksessa laivaväylällä Galvestonin lahdella Teksasissa (Christiansen 2013) korjaamaan ADCP-mittauksen tarkkuutta.

3.3.2 CastAway CTD -laite

CastAway CTD -laite mittaa sähkönjohtavuutta, syvyyttä ja lämpötilaa jatkuvana aikasarjamittauksena 0,12 sekunnin mittausrésoluutiolla. Laitteessa on lämpötila-anturi, kuusi elektrodiä sähkönjohtavuuden määrittämiseen ja paineanturi, jonka avulla lasketaan mittaussyvyys. Mittauspisteen sijainti tallentuu laitteeseen integroidun GPS:n avulla, jonka tietoa käytetään myös paineen avulla johdettuun syvyystietoon (National Imagery and Mapping Agency 2000, 2 - 5). Laitteessa on läpivirtauskanava (kuva 10), jonka sisällä sensorit ovat.



Kuva 10. CastAway CTD -laitteen sensoreiden sijainti (SonTek 2012, 63.)

Kuudesta elektrodista laite käyttää kahta mittaamaan sähkövirtaa. Neljä muuta elektrodiä mittaavat veden resistiivisyyttä kalibroiden jatkuvasti sähkövirran mittaamista. Tällä tekniikalla mahdollistetaan

edustava mittaustulos. Resistiivisyyden käänteisarvo on sähkönjohtavuus ja niillä on seuraava riippuvuus (kaavat 4 ja 5).

$$C = \frac{K}{R} \quad (4)$$

missä

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

R on mitattu resistanssi ohmeina (Ω) ja

K on kennovakio, joka kirjoitetaan

$$K = \frac{l}{A} \quad (5)$$

missä

l on elektrodien etäisyys (cm) ja

A on vesitilavuuden poikkipinta-ala (cm^2).

Laitte siis mittaa resistanssia ohmeina ja muuttaa sen sähkönjohtavuudeksi ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (SonTek 2012, 63.)

CastAway CTD -laitteen laskennalliset parametrit, joita ovat seuraavat; lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, suolaisuus, äänennopeus ja syvyys, ovat saatavilla kun data on siirretty laitteen ohjelmistoon. Ohjelmisto laskee myös tiheystiedon. Näissä laskennallisissa muuttujissa laite käyttää EOS-80 (The International Equation of State for Seawater 1980) -standardia, joka on kansainvälisesti hyväksytty ja muun muassa International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO) -yhdistyksen hyväksymä. (User's Manual 2012, 65.)

3.3.3 CastAway CTD vaakasuuntaiset poikkileikkaukset

CastAway CTD -laite on lähtökohtaisesti suunniteltu syvyysuuntaiseen (bathymetric) profilointiin. Eli kuvaajassa on x-suuntaisella akselilla haluttu muuttuja (esim. sähkönjohtavuus tai lämpötila) ja y-suuntaisella akselilla syvyys. Tämän työn yhtenä tavoitteena on tunnistaa veden sähkönjohtavuuden vaihteluita horisontaalisessa suunnassa uoman poikkileikkauksessa eli laitteen mittaussominaisuuksia hyödynnetään uoman vaakasuuntaiseen tarkasteluun. Teknisesti laite soveltuu vaakasuuntaiseen mittaukseen, kunhan mittaustilanteessa otetaan huomioon laitteen läpivirtauskanavan suunta, jossa anturit sijaitsevat. Laitetta on pidettävä koko mittauksen ajan siten, että läpivirtauskanavan suunta on uoman virtauksen suuntaisesti, jotta vesi virtaa vapaasti sensoreiden läpi. Myös vesisyvyyden tulee mitattavassa kohdassa olla riittävä. Tämän työn kenttämittauksissa ja CTD-mittaustulosten tarkastelussa vedensyvyyden alarajaksi havaittiin noin 0,1 metriä. Tämä syvyys ehdon puitteissa mittaus tehdään pohjan muotoja mukailen keskisyvyyden alapuolella koskematta laitteella uoman pohjaa. Uoman reunoilta jää mittaamatta syvyyden ehdon määrittämä osuus. Sellaisia kohtia joissa uoma ei

ole keskeltä yhtenäinen tai sen keskikohdalla on matalia kohtia (alle 0,1 metriä), ei voida mitata laitteen asettamien ehtojen mukaan.

3.4 Virtaama- ja sähkönjohtavuusmittausten yhdistäminen uoman poikkileikkauksessa

Mittaamalla virtausnopeutta ja sähkönjohtavuutta kahdella eri laitteella samassa poikkileikkauksessa, voidaan tarkastella missä osassa uomaa sähkönjohtavuus on suurimmillaan ja lisäksi voidaan tarkastella virtausnopeuden ja sähkönjohtavuuden välistä yhteyttä poikkileikkauksittain. Poikkileikkauksista voidaan siis tulkita, miten sähkönjohtavuus jakautuu leveysuunnassa uoman vesimassaan mitatussa syvyydessä. Tällaisella tarkastelulla voidaan selvittää nykyistä haitta-aineiden laimenemistä ja sekoittumista Seurujoessa. Kenttätutkimuksien mukaan metalli- ja sulfaattipitoiset kaivoksen purkuvedet painuvat Seurujoessa uoman pohjan tuntumaan (Hämäläinen 2015, 51), koska kaivosvesien tiheys on suurempi. Joen matalan uomaprofiilin vuoksi sähkönjohtavuutta mitattiin yhdessä syvyydessä keskisyvyyden alapuolella eli yhtä virtauspoikkileikkausta kohden on mitattu yksi sähkönjohtavuusmittausveto. Datojen yhdistäminen tehtiin Matlab-ohjelmalla. CastAway CTD -laitteen ja RiverSurveyor M9 -laitteen datat käsiteltiin Matlab-ohjelmalla niin, että ne voitiin esittää samassa kuvaajassa.

3.5 Mittaustapahtumien kuvaus

Mittaukset tehtiin elokuun 26. ja 27. päivä, sekä syyskuun 18. ja 19. päivä 2014. Elokuun mittauksissa joen virtaamat olivat keskimäärin noin $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ suurempia. Säätilassa ei tapahtunut suuria muutoksia kumpanakaan kuukautena mittauspäivien aikana (liite 11) ja sääolosuhteet olivat mittauksien kannalta hyvät. ELY:n Talvitiemukan virtaamamittausaseman mukaan oli elokuussa virtaaman muutos 26. ja 27. päivän välillä vain $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$. Syyskuussa virtaamassa ei ollut muutosta vuorokausien välillä ELY:n aseman mittaus tiedon mukaan. Virtaamamittauksia tehtiin elokuussa myös M9-laitteella pintavalutuskenttien PVK3 ja PVK1 välisessä kuivatusveden ojassa LÖ2-mittasemalla, sekä pintavalutuskentälle PVK4 purettavalle prosessivedelle Flow Tracker -laitteella Rimmin altaan mitta-aseamalla mittakaivon alapuolisessa ojassa (liite 4).

Joella liikuttiin kolmen hengen soutuveneellä, jossa mittauskalusto liikkui vaivattomasti. Pääsääntöisesti etenemissuunta oli alavirtaan. Mittauspisteiden olosuhteiden arviointi tehtiin veneestä käsin, mikä helpotti koko uomapoikkileikkauksen soveltuvuuden tarkastelua ADCP-mittaukselle. Vesi Seurujoessa oli niin kirkasta, että parinkin metrin syvyyteen oli helppo havaita pohjan muotoja ja kasvillisuuden määrää.

Mittauspisteiden alustavat sijainnit oli suunniteltu GTK:n tutkimusryhmän toimesta perustuen heidän aikaisempiin tutkimuksiin joella. Suunnitelmasta kuitenkin jouduttiin poikkeamaan ja mittauspisteiden määrää vähennettiin, koska osa suunnitelluista mittauspisteistä ei soveltunutkaan virtaamamittaukselle. ADCP-virtaamamittauksien haasteellisuus tuli ilmi mittauksilanteissa. Sellaisen kohdan löytäminen joella, missä akustiseen ultraääneen perustuvan virtaamamittauksen ehdot täyttyisivät, oli haastavaa ja joissain tilanteissa mahdotonta. Seurujoen vietto eli pituussuuntainen kaltevuus vaihtelee tutkittavalla osuudella ja lisäksi uoma meanderoi kuluttaen joen reunoja rantapenkkojen alta.

Rantapenkat ovat osittain myös hyvin tiheän pajukasvillisuuden peitossa oksien taittuessa uoman ylle vedenpinnan tuntumaan (kuva 11). Tutkimuksen kannalta oleellisella PVK1-pintavaltuskentän pääpurkupisteen alapuolisella suoralla joki on suhteellisen leveä ja matala. Tällä kohdalla mataluuden havaittiin myös lisäävän pohjakasvillisuuden määrää verrattuna joen muihin osiin, joka vaikeutti mittauksien tekemistä kyseisellä jokiosuudella.



Kuva 11. PVK1-kentän pääpurun alapuolelta alavirtaan päin (GTK)

Alkuperäisen suunnitelman mukaan mittauksia oli tarkoitus tehdä ainoastaan elokuussa kahtena vuorokautena. Mittauksia tehtiin myös syyskuussa, koska elokuun laiterikon vuoksi osa mittauksista piti siirtää myöhempään ajankohtaan. Elokuun 28. päivänä oli tarkoitus jatkaa mittauksia mittauspisteeltä v20 Lintulan sillalle, mutta RiverSurveyor M9 -laitteen Bluetooth-vastaanotin lakkasi toimimasta 28. päivä aamulla. Onneksi edellisenä iltana oli kuitenkin mitattu v21 mittaus Lintulan sillan alapuolelta, ja näin saatiin elokuun tarkasteluun suunniteltu jokiosuus (kuva 16 s. 45). Syyskuussa joen alhainen virtaama hankaloitti mittaussuunnitelman toteuttamista, joten mittauspisteet poikkesivat osittain elokuun sijainneista.

Mittaustapahtumassa oli mukana kaksi henkilöä molemmilla rantapenkoilla ja heidän välille vedettyä vetonaru uoman yli. Vetonaru oli kiinnitetty RiverSurveyor M9 -laitteeseen (kuva 12), jonka avulla laite pyrittiin vetämään mahdollisimman tasaisella nopeudella uoman yli. Mittaajalla oli jatkuva Bluetooth-yhteys kannettavalla tietokoneella M9-laitteeseen, jolla hän seurasi mittaustapahtumaa. RiverSurveyor M9 Live Data -ohjelmalla havainnoitiin mittaustapahtumaa reaaliaikaisesti. Yhdestä poikkeileikkauksesta tehtiin kahdesta kuuteen mittausvetoa perustuen laitteen antamaan arvioon virtaamamittauksen toteutuneesta tarkkuudesta. Varsinaisen mittaustapahtuman lisäksi ohjelmistoon piti syöttää käsin mitattu katvealueen leveystiето molemmilta rannoilta eli se alue mihin laitteen kaikuja

lähettävä sensoriyksikkö ei yltänyt tai syvyys oli alle 20 cm. Mikäli mittauspiste oli sellainen, että se ei soveltunut tarkkaan virtaamamittaukseen, mitattiin siitä vain virtausprofiili eli selvitettiin poikkileikkauksen virtausnopeuden vaihtelu. Virtaaman määrityksissä ohjelma ei välttämättä hyväksynyt mitattua vetoa vaan pyysi mittaamaan uudestaan. Olennainen virhetekijä mittausvedon hylkäämiseen oli mittauslaitteen nopeus suhteessa veden virtausnopeuteen tai voimakas turbulentsisuus. Ideaalitapauksissa laitteen nopeus oli alle mitattavan veden virtausnopeuden, pohjakaasvillisuutta ei ollut tai se oli hyvin matalaa, uoman muodossa ei ollut äkkinäisiä muutoksia ja rantakorjausalue mihin ohjelma teki ekstrapoloinnin, jäi pieneksi. ADCP-virtausmittauksen asiantuntija Claude Flener GWM Engineering:ltä oli vastuuhenkilönä virtausmittauksissa ja hänellä oli M9-laitteiston hyvä tekninen tuntemus, sekä useampi vuosi käyttökokemusta.



Kuva 12. Näkymä ELY:n Talvitiemukan virtaamamitta-asemalta ylävirtaan (GTK)

Samassa mittauspisteessä tehtiin myös CastAway CTD -mittaus. Laitte oli kiinnitetty nippusiteillä alumiiniseen näytteenottovarteeseen vaakatasoon (kuva 13), jolla saatiin läpivirtauskanava joen virtauksen suuntaiseksi. Mittaus tehtiin kahlaamalla uoman yli samasta poikkileikkauksesta, mistä virtausmittauskin oli tehty ja laitetta pidettiin ylävirran puolella läpivirtauskanava virran suuntaisesti (kuva 14). Sauvan päässä olevaan laitteeseen oli jatkuva näköyhteys ja sitä oli helppo ohjata sauvalla mukailien pohjan muotoja. CTD-mittaukset osoittautuivat helpoiksi toteuttaa eikä niissä esiintynyt isoja haasteita. Ainoa mittausta rajoittava tekijä oli vesisyvyys ja sen seurauksena uoman ranta-alueella ei pystytty mittaamaan, jos vettä oli alle 0,1 metriä. Joissain poikkileikkauksissa näin muodostunut mittaamaton alue saattoi muodostua varsin suureksi. Ainut tällainen mittausveto poikkileikkaukstarkesteluun otettiin vain kuivatusveden purun alapuolelta, pisteestä v15 (kuva 17 s. 48), missä joki on suhteellisen matala ja leveä, mutta tutkimuksen kannalta oleellinen. Keskimääräisesti laite hyväksyi luotettavaksi mittauksiksi vedot, joissa syvyys oli enemmän kuin 0,1 metriä. Elokuussa joen syvyys aiheutti muutamassa pisteessä haasteita joen ylittämisen, koska mittausta tehtiin kahlaamalla. CTD-mittauksia tehtiin siksi veneestä käsin muutamassa mittauspisteessä. Sähköjohtavuusmittauksien yhteydessä otettiin vesinäytteitä 11 eri kohdasta Seurujokea CastAway CTD -laitteen sähköjohtavuusmittaustuloksien tueksi.

Prosessiveden virtaama mitattiin elokuussa 27. päivä illalla Rimmin altaan mitta-aseman alapuolisesta ojasta (kuva 16) FlowTracker laitteella. Oja soveltui hyvin ADV-mittaukseen ja kahden erillisen mittauksen tulokset olivat yhtenevät ($\pm 0,0002 \text{ m}^3/\text{s}$). Myös kuivatusveden virtaama mitattiin kaihoksen LÖ2 mitta-aseman alapuolisesta ojasta (kuva 16) RiverSurveyor M9 -laitteella samana iltana. Mittausvetoja mitattiin viisi, jotta tulos olisi mahdollisimman luotettava ja sitä voitaisiin verrata jatkuvatomisen mittakaivon virtaamatulokseen.



Kuva 13. CastAway CTD -laite ja siihen kiinnitetty näytteenottovarsi (GTK)



Kuva 14. CastAway CTD -mittaus uomapoikkileikkauksessa (GTK)

4 SEURUJOEN VALUMA-ALUE JA VESITASE

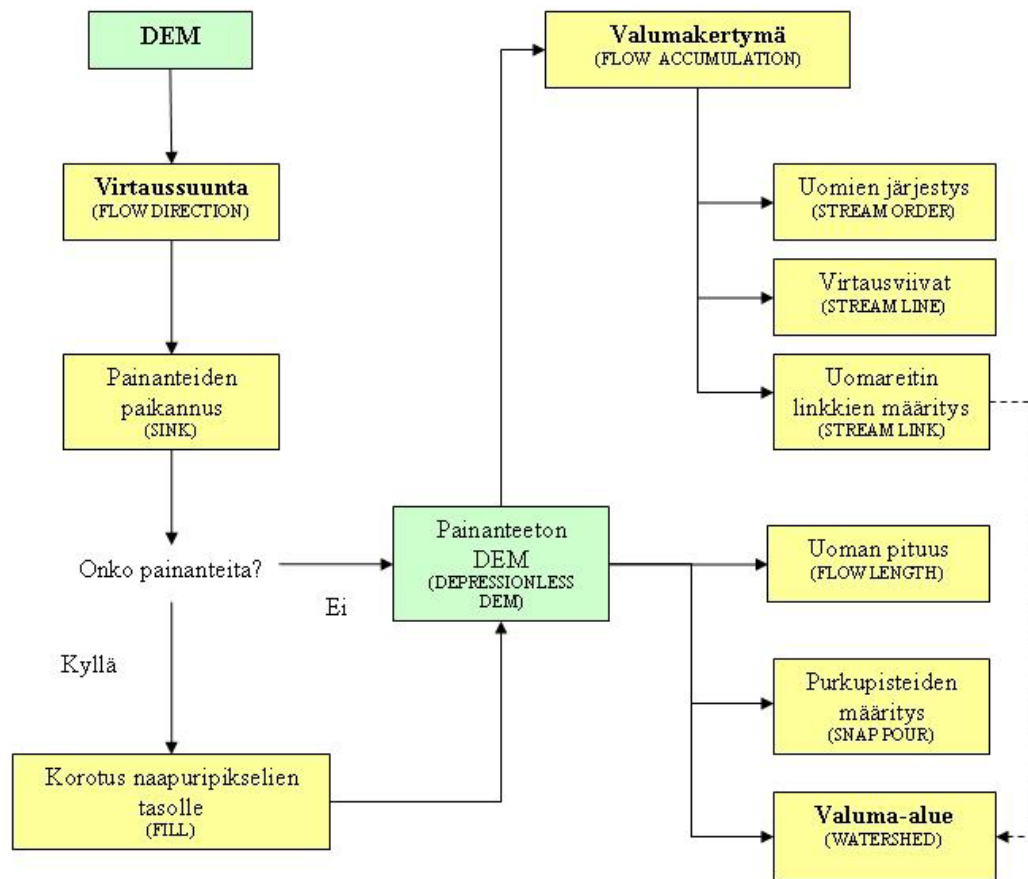
4.1 Valuma-alueen rajaus

Kaivos sijaitsee Seurujoen valuma-alueella, joka on määritetty Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) 3. jaon mukaan (kuva 15). Seurujoen valuma-alueen hydrologisia tietoja on esitetty yksityiskohtaisesti aiemmin luvussa 2.1 sivulla 8. Valuma-alueen koko on 307 km² ja pääpiirteissään se on metsää sekä suota, eikä isompia järviä ole lainkaan. Soiden osuus pinta-alasta on noin 30 % ja järvisyys on 0,27 % (OIVA 2015). Topografia on tasaista lukuun ottamatta valuma-alueen pohjoisosia, missä on muutamia selvästi maastosta erottuvia mäntyvoittoisia vaaroja. SYKE on laatinut vuonna 2014 päivitetyn aineiston koko Suomen päävesistöalueista sisältäen valuma-aluejaon ja purkupisteet. Valuma-alue jako tarkentuu enimmillään 3. jakovaiheeseen. Tätä jakoa voidaan hyödyntää tarkemmissa tarkasteluissa digitoimalla aineisto ArcGis-ohjelmalla. Seurujoen valuma-alue on jaettu edelleen tutkimuksessa tarvittaviin osavaluma-alueisiin, jotka ovat määritetty ArcGIS-Hydrology -työkalulla, sekä sen Spatial Analyst -laajennusosalla. SYKE on kehittänyt VALUE -valuma-alueen rajaustyökalun, joka on kaikkien saatavilla ja jota voidaan hyödyntää paikkatieto-ohjelmissa analyysien apuna. VALUE -rajaustyökalulla ei kuitenkaan voida määrittää vapaavalintaisen pisteen yläpuolista valuma-aluetta Seurujoen valuma-alueella, siksi mittauspisteiden yläpuoliset valuma-alueet ovat määritetty edellä mainitulla tavalla.

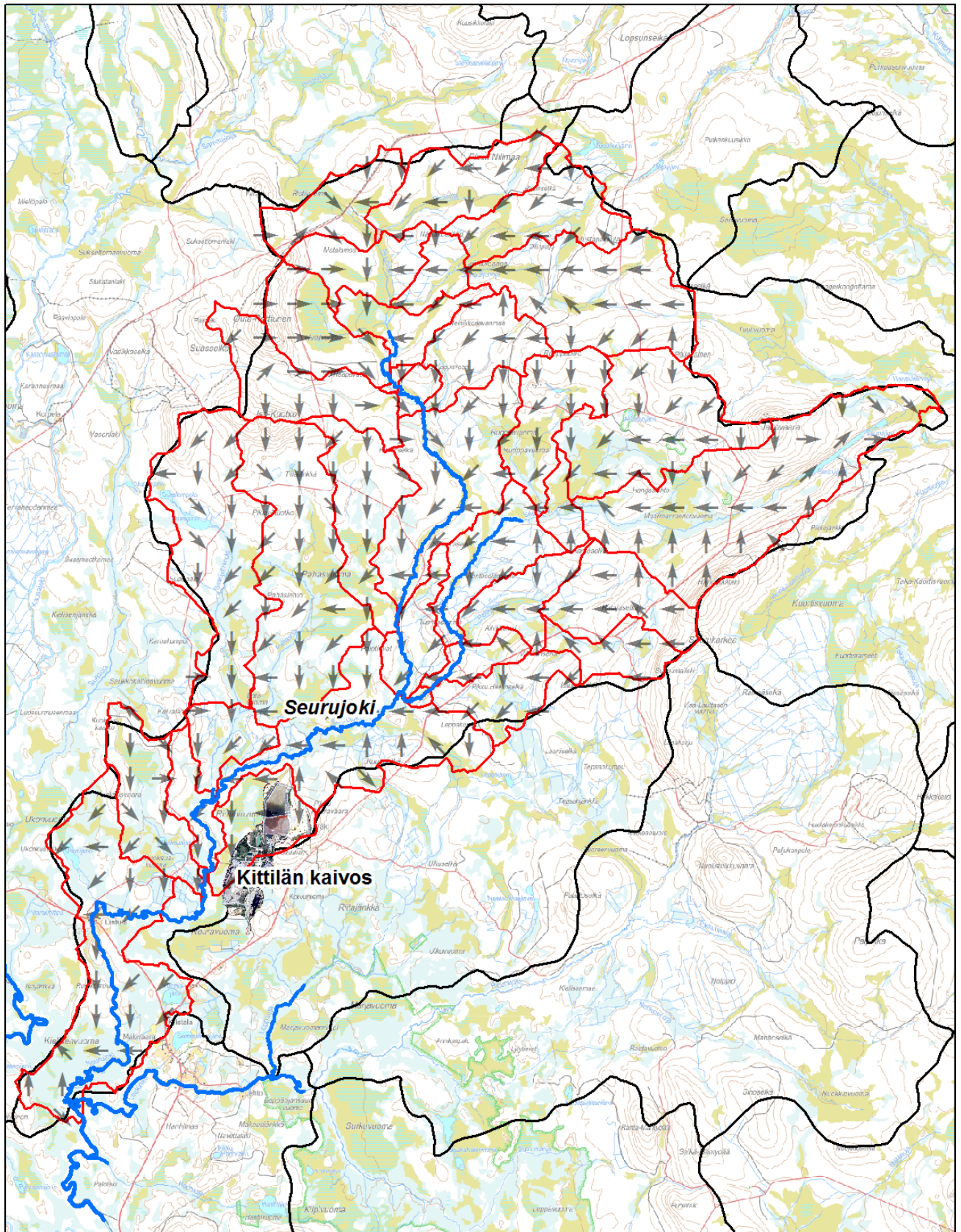
4.2 Osavaluma-alueet

Tässä työssä oli tavoitteena määrittää Seurujoen virtaamaa uoman eri poikkileikkauksista paitsi mitaamalla myös vesitaselaskennalla. Osana vesitaseyhtälöä tarvittiin tieto kyseisen poikkileikkauksen ylävirranpuolisen valuma-alueen koosta. Nämä valuma-alueet muodostettiin käyttäen seuraavaksi kuvattavaa menettelyä. Hydrology-työkalu perustuu virtaussuuntagridiin, joka käyttää D8-virtaussuunta algoritmia. Se laaditaan korkeusmallin lähtötietojen avulla, joka on perusta valuma-suunnille. Solun virtaussuunta määräytyy viereisten solujen alimman korkeusarvon mukaan. Painanteet ja kuopat kuitenkin pitää poistaa, jotta virtaussuunta seuraavaan soluun ei esty. Tähän käytetään Sink- ja Fill -työkaluja. (Sippel 2010, 28.)

Seuraavassa vaiheessa Flow Accumulation -työkalulla muodostettiin valumakertymägridi. Jokaiselle rasterin solulle on laskettu siihen virtaavien solujen lukumäärä. Tällä menetelmällä vedenvirtaus reitit saavat isoimmat valumakertymäarvot ja päinvastoin reuna-alueet saavat pienimmät arvot. Tuloksena syntyi mallinnus valuma-alueesta (kuva 15). Prosessia korkeusmallista (DEM) valuma-alueen määrittämiseen kuvataan oheisessa lohkokaaviossa tarkemmin (kuvio 2). Jos valuma-aluetarkastelua tehtäisiin pelkästään korkeuskäyriä digitoimalla, olisi tarkempi laserkeilausaineisto tarpeellinen. (Sippel 2010, 28.)



Kuvio 2. Valuma-aluemallinnus ESRI:n ArcGIS-työkalujen avulla (Sippel 2010, 30.)



**Valuma-alueet
Kittilän kaivos, Seurujoki**

- Valuma-alueet 3. jako (SYKE)
- ArcGIS:n Hydrology-työkaluilla määritetyt osavaluma-alueet

0 2 4 6 8
km



Pohjakartat: © Maanmittauslaitos ja HALTIK

Kuva 15. Seurujoen valuma-alue ja valumasuunnat (GTK)

4.3 Mittauspisteiden yläpuoliset valuma-alueet

Vesitaselaskennan tavoitteiden saavuttamiseksi jokaiselle mittauspisteelle piti määrittää valuma-alue. Määrittäminen tehtiin ArcGIS-ohjelmalla hyödyntäen edellisessä kappaleessa esitettyä osavaluma-aluejakoa (liite 10). Osavaluma-alueen uudelleen rajaamisessa mittauspisteelle käytettiin perustana Maanmittauslaitoksen DEM 10m -laserkeilausaineistoa, maastokarttarasteria 1:50 000 ja ilmakuvaa 1:1500. Pinnanmuotojen, kasvillisuuden sekä virtaussuunnan perusteella tehtiin lopullinen raja. ArcGIS-ohjelma laski valitut valuma-alueiden polygonit attribuuttitaulukossa ja ilmoitti tulokset nelioetreissä. Valuma-alue tarkastelussa olisi päästy tarkempiin tuloksiin, jos alueelta olisi ollut tarkempi kuin 10 m -laserkeilausaineisto. Toisaalta aineisto on riittävä tämän työn tarkastelussa. Myös Sippel (2010, 50) toteaa tutkimuksessaan vähintään 10 metrin resoluution tarkkuudeltaan sopivaksi virtaussuuntatgridin laskentaan.

4.4 Vesitaseen laskenta

Vesitaselaskenta koettiin tarpeelliseksi menetelmäksi tarkastella Seurujoen mittauspisteiden välisiä virtaaman muutoksia, koska virtaama ei kasvanut johdonmukaisesti uomassa jokaisella mittauspisteellä alavirran suuntaan. Tämä huomattiin virtaamamittaustuloksien analysoinnin yhteydessä. Seurujoen vesitasetta tarkastellaan tässä työssä kaivoksen yläpuolelta Lintula kylään (liite 1) eli noin 14 kilometrin matkalla. Vesitaselaskennalla tarkastellaan alueen vesivirtoja huomioiden kaivoksen vaikutus, sekä joessa virtaavan veden määrän muutoksia tarkastelujaksolla. Vesitaselaskenta perustuu mittauspisteisiin määritettyihin valuma-alueisiin (liite 10), sekä Talvitienmukan (v4 ja v4b mittauspisteet kuvassa 16) virtaamien avulla laskettuihin valunnan arvoihin elokuussa (liite 4) ja syyskuussa (liite 5). Laskenta on menetelmänä yksinkertainen ja se esitetään alla kaavoissa 6 ja 7 (Smolander 2011, 12.)

$$Q_2 = Q_1 + (A_2 - A_1) \times R \pm Q_{kaivos} \pm \Delta S \quad (6)$$

missä

Q_1 on ylemmän pisteen virtaama (m^3/s),

Q_2 on alemman pisteen virtaama (m^3/s),

Q_{kaivos} on kaivoksen vedenotto ja purkuvedet (m^3/s),

A_1 on ylemmän pisteen yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala (m^2),

A_2 on alemman pisteen yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala (m^2),

ΔS on varaston muutos (m^3/s) ja

R on valunta (mm/d), joka lasketaan kaavasta:

$$R = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

Osana vesitasetta on paitsi valuma-alueelta tuleva valunta myös kaivoksen joesta ottamat ja jokeen palauttavat vesivirrat. Jokeen suoraan tapahtuvaa sadantaa tai sen vesipinnasta tapahtuvaa haih-

duntaa ei ole vesitaseessa huomioitu, koska niiden on arvioitu olevan merkityksettömiä. Vesitaseyh-tälöön on lisätty varastotermi S , joka kuvaa tarkasteltavalta jokiosuudelta varastoon poistuvaa tai varastosta uomaan palaavaa vesimäärää. Varastotermiä tarvitaan esille tarkasteltaessa joen vesi-tasetta laskennallisesti ja mittauksen perusteella kaivosalueen kohdalla. Vesi saattaa siirtyä varas-toon pois uomasta esimerkiksi suoalueille, jos vedenpinta nousee joessa. Toisaalta jos joen vesipinta laskee, saattavat suoalueet vapauttaa vettä takaisin vesiuomaan. Seurujoki virtaa kaivosalueella hy- vin rikkonaisessa kalliovyöhykkeessä (Backnäs ja Turunen 2015-04-30) ja saattaa olla myös mahdol- lista, että joen vettä poistuu kallioruhjeiden kautta kohti avolouhoksia tai kaivoskuiluja, joissa luon- taista kallio pohjavedenpintaa on laskettu voimakkaasti kuivanapitopumppeilla.

Seurujokeen laskevat Kuoksus- ja Ukonoja ovat mitattu Flow Tracker -laitteella, sekä Pahasoja Ri- verSurveyor M9 -laitteella elokuussa. Laskennassa kuitenkin päädyttiin käyttämään yhdenmukaista menetelmää, joten ojien virtaamat huomioidaan valuma-alueen pinta-alan ja valunnan avulla.

Seurujoen vesitase on olennainen osa kaivoksen vesienhallintajärjestelmää. Kaivoksen toiminta ja joen virtaama kytkeytyvät toisiinsa voimakkaasti. Jopa Seurujoen vedenlaatu saattaa vaikuttaa esi- merkiksi kaivoksen rikastusprosessin toimintaan, mikäli kaivokselta purettavan prosessiveden laatu vaihtelee, koska raakaveden pumppaus sijaitsee samalla puolella jokea noin 200 metriä prosessive- den purulta alajuoksulle. Ympäristönsuojelulaki ja vesilaki määrittelevät osittain kaivoksen vesienhal- lintajärjestelmää. Esimerkiksi tämänhetkisen ympäristöluvan mukaan kuivatusveden purkamisen lu- paraja on suhteutettu ELY:n Talvitienmukan virtaamamittausaseman virtaamatietoon. Puhuttaessa kaivoksien ympäristövaikutuksista, vesistövaikutukset ovat keskeinen osa arviointia (Jantunen, Kauppila, Räisänen ym. 2015, 45) ja siksi yksityiskohtainen Seurujoen vesitaselaskenta esitetään tässä työssä. Tarkemman tarkastelun pohjalta saadaan perusteellinen kuva virtaamista ja nähdään kaivokselta johdettavien vesien määrät suhteutettuna Seurujoen virtaaviin vesimääriin.

5 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.1 Vesitasetarkastelu

Elo- ja syyskuun vesitaseet on esitetty taulukoissa 3 ja 4, joihin on kirjattu RiverSurveyor M9 -laitteella mitatut virtaamat, sekä ELY:n Talvitienmukan aseman virtaama kyseisenä ajankohtana. Mittauspisteiden sijainnit ovat kuvassa 16 tämän alaluvun lopussa. Tarkasteluun on otettu mukaan vain ne mittauspisteet, joissa M9-laitteen virtaamamittaus on luotettava. Sellaiset mittauspisteet, joissa mitattujen vetojen virtaaman keskihajonta on yli 0,1 ei ole huomioitu tarkastelussa, lukuun ottamatta Lintulan sillan veneenlaskupaikan mittauspisteitä v21, josta on vain yksi mittausveto dokumentoituna raportissa (liite 6). On oleellista huomioida, että virtaamamittauksia on molemmissa vesitasetaulukoissa 12, mutta kaikkia mittauksia ei kuitenkaan ole mitattu samoista uoman kohdista kuukausien välillä johtuen mittausolosuhteista (kuva 16).

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty molempien mittauskertojen oleellisimmat lukuarvot vesitaselaskennasta. Voidaan havaita, että M9-laitteella mitatut virtaamat ovat molempina kuukausina ELY:n mitta-aseman arvoja suurempia Talvitienmukassa, elokuussa noin 37 % ja syyskuussa noin 11 %. Laskennallisesti tehtyyn virtaamatarkasteluun M9-laitteen v4 mittauspisteen valunnan mukaan, on huomioitu vuorokauden vaihtuminen mittauksien aikana, jolloin virtaama pieneni ELY:n aseman mukaan 3,5 %. Tämä korjaus on tehty siis mittauspisteille v7 - v20 (taulukko 3). Syyskuussa M9-laitteella mitattu virtaama mittauspisteessä v31 (liite 7) osoittaa, että laskennallinen virtaama M9:n v4b mittauspisteen valunnan mukaan laskettuna on samansuuruinen (taulukko 4) eli toisin sanoen valuma-alueen pinta-ala määrittäminen kuvaa todellista valuma-aluetta. Toisaalta se tukee myös M9-laitteen luotettavuutta.

Taulukko 3. Seurujen eri uomapoikkileikkauksista mitatut virtaamat, sekä vesitaselaskennalla saadut virtaamat tutkimuksessa mitatun v4 valuntatiedon (mm/d) ja perusteella elokuu 26. ja 27. päivä. Summa varaston muutostermille kaivoksen lähellä välillä v7 - v17 on noin 0,4 m³/s.

Mittauspoikkileikkaus	Sijainti (WGS84 lat)	Sijainti (WGS84 lon)	Uoman poikkileikkauksen yläpuolisen valuma-alueen koko A (m ²)	River Surveyor M9-laite (m ³ /s)	Mitattu virtaaman muutos edelliseen (m ³ /s)	Kaivoksen vedenotto ja purkuvedet (m ³ /s)	Vesitaseyhtälöllä laskettu virtaama ELY:n valunnan mukaan laskettuna (m ³ /s)	Vesitaseyhtälöllä laskettu virtaama M9-laitteen v4-poikkileikkauksesta lasketun valunnan mukaan (m ³ /s)	M9:n mitatun virtaaman ja ELY:n aseman laskennallisen virtaaman mukaan laskettu ero (%)	Varaston muutos* S (m ³ /s)
v1	67.94569370	25.41334004	202438539	2.273			1.610	2.201	41.2	
v2	67.93300496	25.35951020	212990865	2.379	0.106		1.694	2.316	40.5	0.009
v3	67.93190261	25.35456973	258123057	2.700	0.321		2.052	2.807	31.5	0.170
v4	67.92859595	25.34857158	260328584	2.831	0.131		2.070	2.831	36.8	-0.107
v5	67.92126090	25.36312484	261036002	2.882	0.051		2.076	2.839	38.8	-0.043
v6	67.92024942	25.36097329	261106959	2.723	-0.159		2.076	2.839	31.2	0.160
v7	67.91953335	25.36142491	266971282	2.612	-0.111	0.0149 (pv)	2.051	2.805	27.4	0.188
v10	67.91720335	25.36091382	267260044	2.502	-0.110	-0.0500 (vo)	2.053	2.808	21.9	0.063
v15	67.91316012	25.35735112	267861379	2.433	-0.069	0.0750 (kv)	2.058	2.814	18.2	0.150
v17	67.91092749	25.35591324	268118607	2.400	-0.033		2.060	2.817	16.5	0.036
v20	67.90913090	25.35702866	276245901	2.556	0.020		2.122	2.902	20.4	-0.035
v21	67.89935314	25.27902146	287690260	2.711	0.110		2.210	3.129	22.7	-0.035
Yhteensä										0.56

(pv) = prosessivesi, (vo) = vedenottamo, (kv) = kuivatusvesi

*Varaston muutostermillä tarkoitetaan vettä, joka laskennallisesti tarkasteltuna poistuu jokiuomasta varastoon mittauspisteiden välisellä osuudella (+) ja päinvastoin (-) (kaava 6 sivulla 38).

Taulukko 4. Seurujoen eri uomapoikkileikkauksista mitatut virtaamat, sekä vesitaselaskennalla saadut virtaamat tutkimuksessa mitatun v4 valuntatiedon (mm/d) ja perusteella syyskuu 18. ja 19. päivä. Summa varaston muutostermille kaivoksen lähellä välillä v23 - v26 on noin 0,3m³/s.

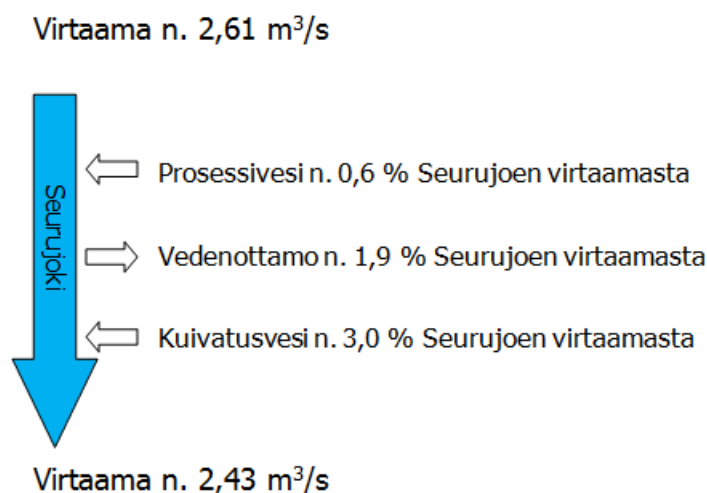
Mittauspoikkileikkaus	Sijainti (WGS84 lat)	Sijainti (WGS84 lon)	Uoman poikkileikkauksen yläpuolisen valuma-alueen koko A (m ²)	River Surveyor M9 -laite (m ³ /s)	Mitattu virtaaman muutos edelliseen (m ³ /s)	Kaivoksen vedenotto ja purkuvedet (m ³ /s)	Vesitaseyhtälöllä laskettu virtaama ELY:n valunnan mukaan laskettuna (m ³ /s)	Vesitaseyhtälöllä laskettu virtaama M9-laitteen v4-poikkileikkauksesta lasketun valunnan mukaan (m ³ /s)	M9:n mitatun virtaaman ja ELY:n aseman laskennallisen virtaaman mukaan laskettu ero (%)	Varaston muutos* S (m ³ /s)
v33	67.94569608	25.41339287	202438539	1.438			1.112	1.236	29.3	
v4b	67.92866403	25.34860939	260328584	1.590	0.152		1.430	1.590	11.2	0.202
v22	67.92015977	25.3612399	261095633	1.735	0.145		1.434	1.595	21.0	-0.140
v23	67.91954345	25.36143294	266971543	1.706	-0.029	0.0063 (pv)	1.466	1.631	16.3	0.071
v24	67.91715996	25.36100156	267268790	1.472	-0.234	-0.0500 (vo)	1.468	1.632	0.3	0.186
v25	67.9149897	25.35638835	261598769	1.560	0.088		1.437	1.598	8.6	-0.123
v26	67.91120396	25.35675925	268111453	1.465	-0.095	0.075 (kv)	1.473	1.638	-0.1	0.210
v27	67.90912962	25.35701174	276254562	1.655	0.170		1.517	1.687	9.1	-0.140
v28	67.90499527	25.35607969	276492969	1.741	0.086		1.519	1.689	14.6	-0.085
v29	67.90241211	25.29213587	281319792	1.800	0.059		1.545	1.718	16.5	-0.030
v30	67.90302051	25.28093324	287427347	1.662	-0.138		1.579	1.756	5.3	0.175
v31	67.89938648	25.27903039	287690260	1.744	0.082		1.580	1.757	10.4	-0.080
Yhteensä										0.25

(pv) = prosessivesi, (vo) = vedenottamo, (kv) = kuivatusvesi

*Varaston muutostermillä tarkoitetaan vettä, joka laskennallisesti tarkasteltuna poistuu jokiuomasta varastoon mittauspisteiden välisellä osuudella (+) ja päinvastoin (-) (kaava 6 sivulla 3)

Virtaama oletetaan jatkuvasti kasvavan joen alajuoksun suuntaan, koska sen valuma-alueen pinta-ala kasvaa. Seurujoessa tarkasteltavalla osuudella ei näin kuitenkaan mitausten mukaan tapahdu. Kaivoksen yläpuolella M9-laitteella mitattu virtaama kasvaa molempina kuukausina johdonmukaisesti Kolvakoskeen asti (kuva 1 s. 13), jonka jälkeen virtaamat eivät enää suurene. Tämän ilmiön vuoksi vesitasetarkasteluun lisättiin varastotermi, joka kuvaa kahden mittauspisteen välissä tapahtuvaa laskennallista uoman veden häviötä tai sen lisääntymistä. Laskennassa käytetään kyseisen ajankohdan valuntaa, joka on laskettu RiverSurveyor M9 Talvitiemukan virtaamasta ja ELY:n Talvitiemukan mitta-aseman virtaamasta jakamalla virtaama mittauspisteen yläpuolisella valuma-alueen pinta- alalla. Tulosta verrataan M9-laitteella mitattuun virtaamaan kussakin mittauspisteessä. Varaston muutostermiä laskentaan käytetään M9-laitteella mitattuja virtaamia. Taulukosta 3 voidaan nähdä, että elokuussa kaivoksen lähettyvillä (v7 - v17) varastoon menee vettä noin 0,44 m³/s eli noin 15 % Seurujoen Talvitiemukan virtaamasta. Syyskuussa lähes samalla tarkastelujaksolla varastoon menee noin 0,34 m³/s vettä, kuten taulukosta 4 (v23 - v26) voidaan nähdä. Se on noin 20 % Seurujoen sen hetkisestä virtaamasta Talvitiemukassa. Laskennassa on huomioitu kaivoksen raakavedenotto sekä prosessi- ja kuivatusveden purut. Nämä eivät kuitenkaan selitä uomahäviötä, kuten alla olevasta kaaviosta näkyy. Vesitaselaskennassa on käytetty kuluvan kuukauden keskiarvoja kaivokselta Seurujoeseen johdettavien vesien osalta. Pintavalutuskentillä tapahtuvaa haihduntaa ei ole huomioitu. Koko joen tarkastelujaksolla menee elokuussa varastoon noin 20 % vettä suhteutettuna tarkastelujakson M9-laitteella mitattuun keskivirtaamaan. Syyskuussa vastaava luku on noin 15 %.

Elokuun mittauspisteiden v7 - v15 väliset vesivirrat (kuluvan kuukauden keskiarvot).

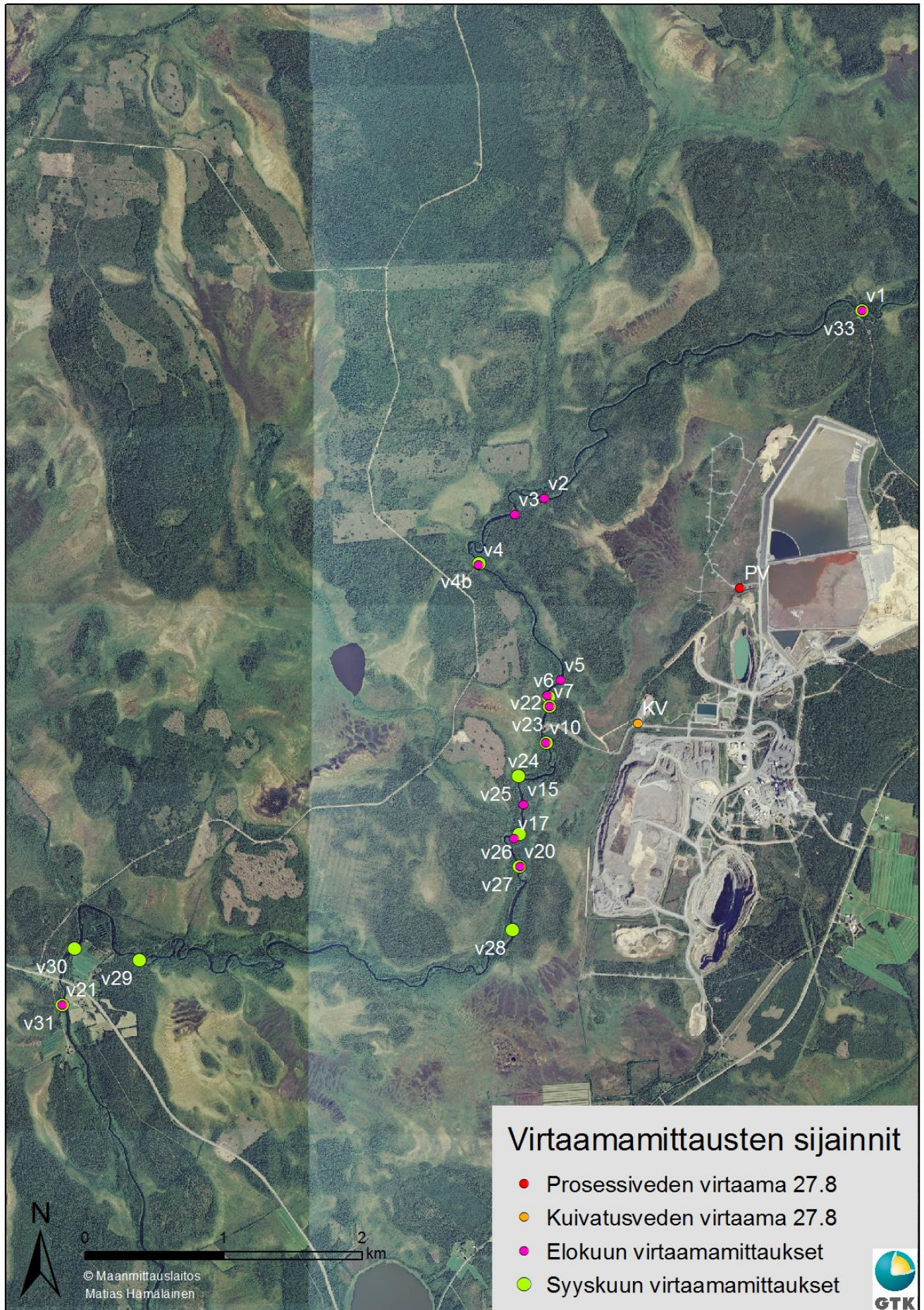


Vesitaseen tarkastelussa on epävarmuustekijöitä valuma-alueen pinta-alan määrittämisessä. Valuma-alueen rajan absoluuttinen määrittäminen on haastavaa ilman kenttätutkimuksia. Toisaalta valuma-alueiden määrittäykset ovat tehty yhdenmukaisella menetelmällä lukuun ottamatta kaivospiirin aluetta ja kaivospiirin eteläpuoleisen Rouranvuoman suoaluetta. Kaivos piirin alueella on muokattu pintamaita, louhittu avolouhoksia ja rakennettu vesivarastoaltaita, jotka vaikuttavat pintavalunnan suuntiin ja Seurujoeseen päätyvään osuuteen. Osa Rouranvuoman suoalueesta kuuluu Seurujoen valuma-alueeseen SYKE:n laatiman 3. jaon mukaisesti, mutta ArcGIS Hydrology työkalu ei laske tätä Seurujoeseen kuuluvaksi (kuva 15). Työssä käytetään tässä kohtaan jokea sovellettua SYKE:n 3. jaon mu-

kaista valuma-alue määrittelyä. Vesitaselaskennassa käytetty valunta-arvo (mm vesipatsasta) on laskettu v4 pisteen (Talvitienmukka) yläpuolisella valuma-alueella, joka sijaitsee kaivoksen yläjuoksulla. Karttatarkastelun perusteella voidaan huomata, että maasto ja topografia muuttuu hieman kaivoksen jälkeen Seurujoen ympäristössä. Kaivoksen yläjuoksulla maasto on hieman mäkisempää ja suoalueita on vähemmän kuin kaivoksen alajuoksulla. Tämä voi vaikuttaa joiltakin osin valuman määrään ja nopeuteen.

River Surveyor M9 -laite edustaa nykyaikaisinta virtausmittaustekniikkaa hyödyntäen reaaliaikaista tuloksien prosessointia algoritmien avulla. Vesitaselaskennassa käytettyjä M9-laitteen virtaamatuloksia voidaan pitää suurimmilta osin luotettavina, kuten syyskuun mittapisteen v31 mitattu (liite 7) ja laskennallinen virtaama (taulukko 4) tulos osoittaa. Laittevalmistaja antaa virtausnopeuden mittaus-tarkkuudeksi 0,001 m/s. Seurujoki on kuitenkin haastava virtaamamittauskohde, koska uoman muoto ja virtausolosuhteet vaihtelevat paljon, sekä kasvillisuutta esiintyy ajoittain runsaasti.

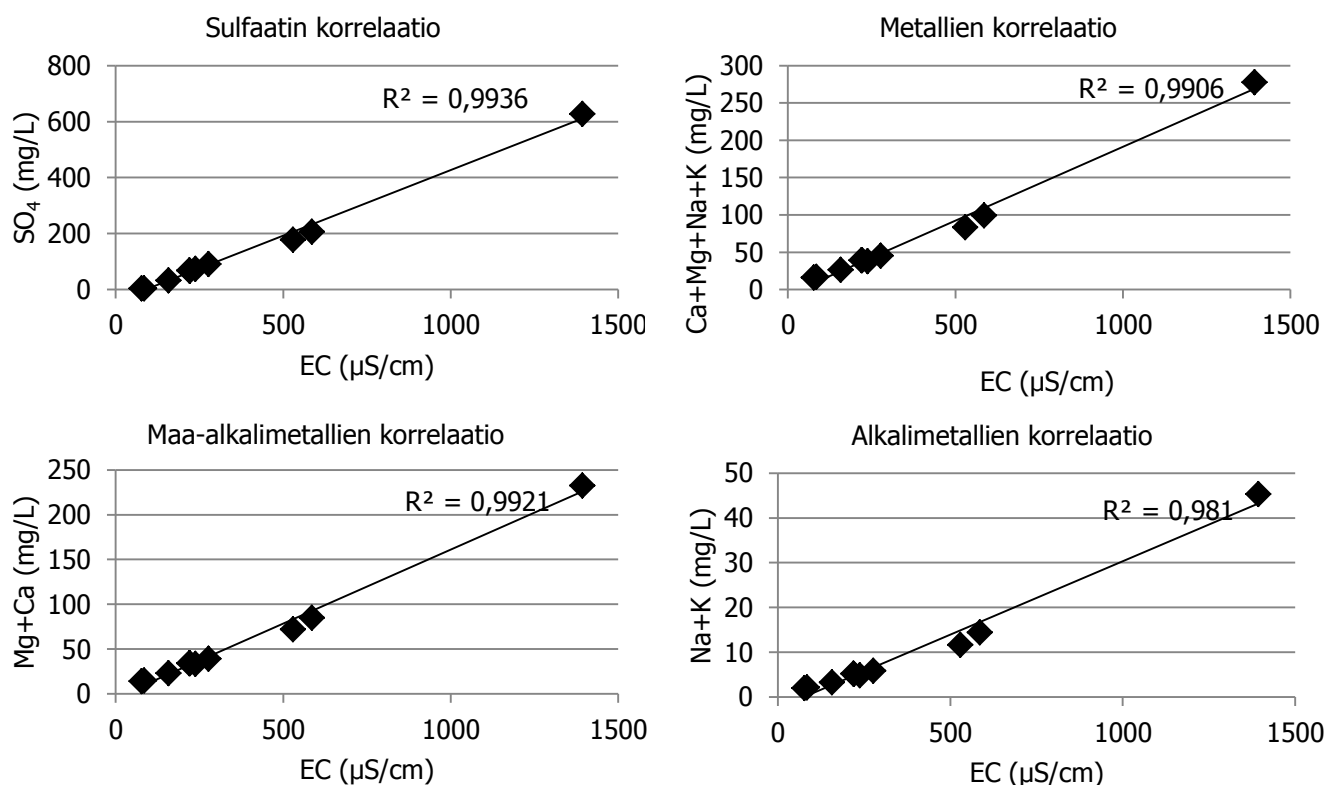
Kaivosvesien virtaaman monitorointi osoittautui kuivatusveden osalta yhteneväksi RiverSurveyor M9:n tuloksen kanssa. ADCP-mittaus M9-laitteella LÖ2 -mitta-aseman alapuolelta ja aseman ultraäänimittauksen virtaamatulos olivat yhtä suuret. Mittaukset tehtiin elokuun 27. päivä noin kello 20:00. M9-laitteen tulos oli 79 l/s (liite 8) ja aseman ultraäänimittaus 80 l/s. Prosessiveden virtaama mittaustuloksissa Rimmin mittakaivon ja Flow Tracker -laitteen ADV-mittauksen välillä oli eroavaisuutta. Mittaus tehtiin samana iltana noin kello 21:00. Flow Tracker -laitteen mittaustulokset olivat 10,6 ja 10,8 l/s (liite 9) ja Rimmin v-mittapadon 14,8 l/s. V-mittapatoa voidaan pitää epätarkempuna menetelmänä kuin ultraäänimittaukseen perustuvaa virtaamamittausta.



Kuva 16. Vesitaselaskennassa käytettyjen virtaamamittausten sijainnit Seurujoella (GTK)

5.2 Virtausprofiilit ja sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuuden sekoittumista, laimenemista ja jakautuneisuutta Seurujoessa tutkittiin tässä luvussa esitettyjen kuvioiden avulla. Molempina tutkimusajankohtina elo- ja syyskuussa on 7 uomapoikkileikkausta (kuva 17), joissa esitetään virtausnopeus (m/s), lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$) sekä uomansyvyys- ja leveys (m). Kuvioissa jokiuoma on esitetty niin, että kaivos sijaitsee oikealla puolella poikkileikkausprofiilia. Elokuussa 2014 GTK:n tekemän vesinäytteenoton perusteella sähkönjohtavuus korreloi Seurojoen veden sulfaattipitoisuuden sekä maa-alkali- ja alkalimetallipitoisuuksien, kuten kalsiumin ja magnesiumin kanssa (kuvio 3). Vastaavat korrelaatiot havaittiin myös Hämäläisen (2015, 29) tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin Seurujoen sähkönjohtavuuden vaihteluita kesä- ja elokuussa 2014. Uomapoikkileikkaukset ovat sellaisista kohdista, että tuloksia voidaan verrata tausta-arvoon ja keskenään niin, että laimenemista voidaan tutkia alavirran suuntaan kaivosvesien purkujen jälkeen. CastAway CTD -datan pituus on suhteutettu RiverSurveyor M9 -datan pituuteen, joka tarkoittaa joenleveyttä. Sähkönjohtavuusdatasta on poistettu kaikki ne mittausarvot, joissa paine on alle 0,01 bar eli laitteen mittaussyvyys on ollut alle 0,1 metriä. Kuvassa 17 on esitetty kaikki poikkileikkauksien sijainnit.



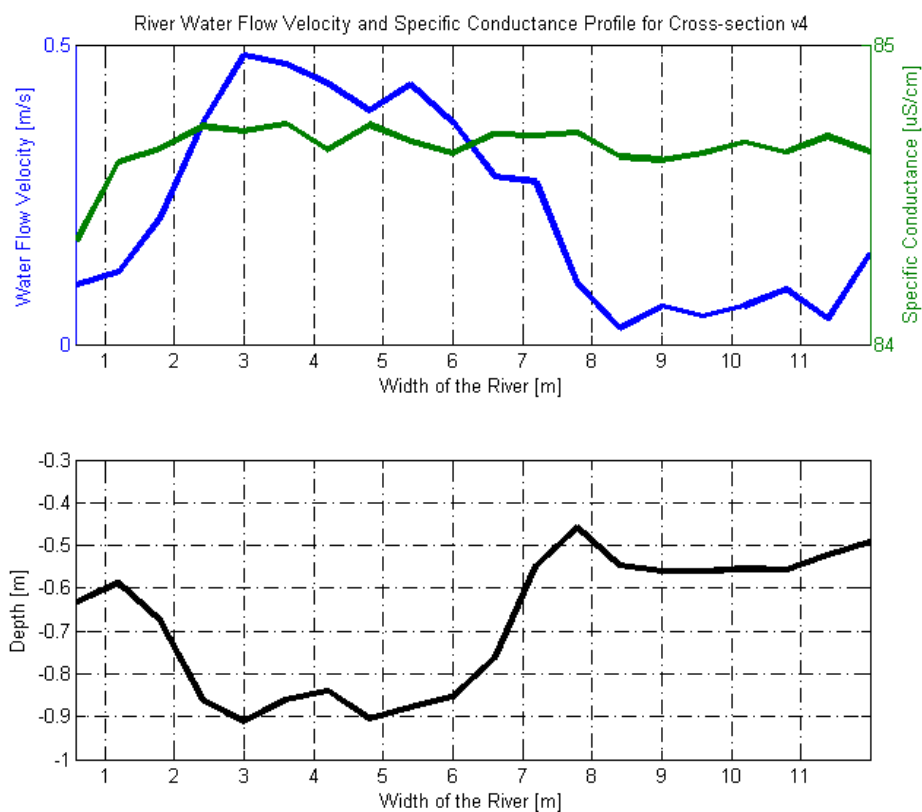
Kuvio 3. Korrelaatiot sulfaatin, metallien, maa-alkalimetallien ja alkalimetallien sekä lämpötila korjatun sähkönjohtavuuden välillä Seurujoesta otetuissa vesinäytteissä elokuussa 2014

Kuvioista 4 ja 5 voidaan nähdä, että Seurujoen sähkönjohtavuus on hyvin tasaisesti jakautunut koko uoman leveyteen ennen kaivoksen vaikutusta arvon ollessa elokuussa noin 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja syyskuussa noin 106 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Myös kaivokselta johdettavat vedet näkyvät erittäin selkeästi purkupisteiden alapuolisissa poikkileikkauksissa (kuviot 6 ja 9). Syyskuun osalta prosessiveden purkupisteen alapuolella on verrattain matala sähkönjohtavuus kaivoksen puoleisella rannalla verrattuna elokuun vastaavaan poikkileikkaukseen (kuviot 6 ja 7). Tämän selityksenä on prosessiveden purun virtaama, joka on ollut syyskuussa erittäin vähäistä (5 - 10 l/s) ja osittain ei ole purettu lainkaan. Pintavalutusken-tän 4 viipymä on noin kaksi viikkoa normaaliosuhteissa (Ronkanen, Heiderscheidt ja Klöve 2012, 32). Vedenottamon alapuolella mittauspisteen v24 (kuvio 15) sähkönjohtavuuden käyrästä nähdään, että prosessiveden purun vähäisyys on nostanut Seurujoen sähkönjohtavuutta vain noin 10 yksikköä verrattuna Talvitiemukan tausta-arvoon (kuvio 4).

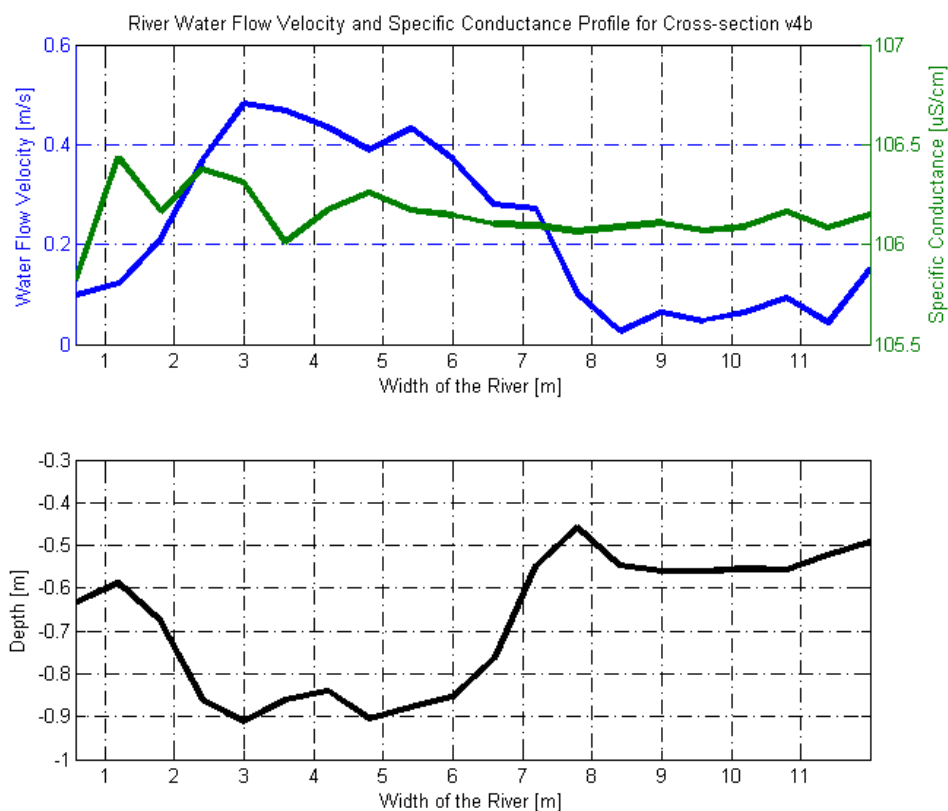
Ensin jokeen purettava prosessivesi laimenee elokuun mittauksissa lähes kokonaan uoman leveys-suunnassa noin 300 metrin matkalla sähkönjohtavuuden tasoittuessa tasolle 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (kuvio 8). Ennen kuivatusveden purkua sähkönjohtavuus tasaantuu koko uoman leveydelle arvoon 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kuivatusvedet purkautuvat viuhkamaisemmin ja purkumäärä oli viisikertainen suhteutettuna prosessiveden elokuussa 2014. Kuivatusveden sekoittumista hidastavat pääpurun kohdalla uoman leveys ja mataluus (liite 12), sekä suhteellisen hidas keskimääräinen virtausnopeus, joka oli 20 % pienempi kuin prosessiveden purun kohdalla. Prosessiveden purun kohdalla suurimmat virtausnopeuden keskittyvät kaivoksen puoleiselle rannalle (liite 12), joka tehostaa laimenemista. Tämän vuoksi korkeammat sähkönjohtavuudet pysyttelevät kaivoksen puoleisella rannalla ja kuivatusvesien purkautumistavasta johtuen sähkönjohtavuus tasaantuu uoman leveys-suunnassa lähes kokonaan vasta mittauspisteen v28 kohdalla, kuten syyskuun poikkileikkauksikuvio 12 osoittaa. Kuviot 9, 10 ja 11 kuvaavat kuivatusveden purkautumista ja laimenemista elokuussa. Kuvion 8 poikkileikkausprofiili on kuivatusveden pääpurun alapuolelta ja kuviot 9 sekä 10 siitä alajuoksulle päin. Kuviot 13 ja 14 kuvaavat vastaavasti syyskuun kuivatusveden laimenemista. Poikkileikkaukset osoittavat, että purkautumista tapahtuu useasta sijainnista PVK1-kentältä Seurujokeen, koska kuviossa 13, joka sijaitsee joella alempana, on korkeampi sähkönjohtavuuden maksimiarvo. Seurujoen sähkönjohtavuus tasoittuu koko uomaleveydessä molempina tutkimuskerroilla, kuten kuvioista 16 ja 17 voidaan nähdä, jotka ovat mitattu noin 7 kilometriä kaivokselta alajuoksulle. Tutkimustuloksien perusteella voidaan todeta, että kaivoksen vesistökuormitus nostaa Seurujoen sähkönjohtavuutta elokuussa noin 145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (kuviot 3 ja 15) ja syyskuussa noin 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (kuviot 5 ja 17), jos luonnollisia tekijöitä sähkönjohtavuuden muuttumiseen joessa ei huomioida.



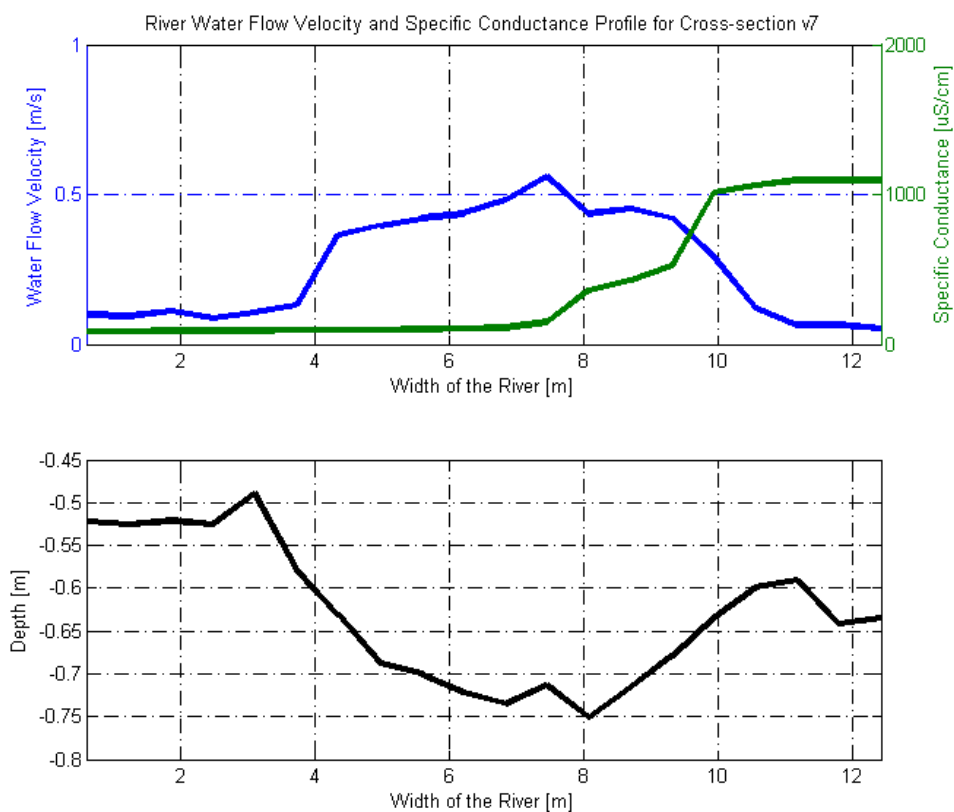
Kuva 17. Sähkönjohtavuus- ja virtauspoikkileikkauksien sijainnit (GTK)



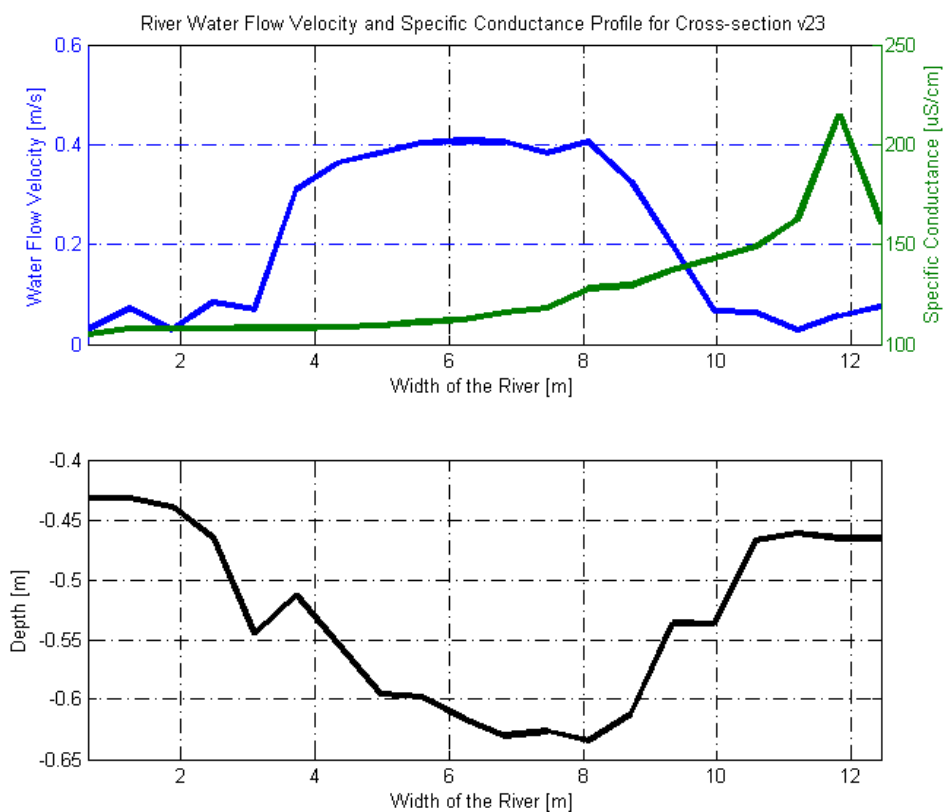
Kuvio 4. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v4 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



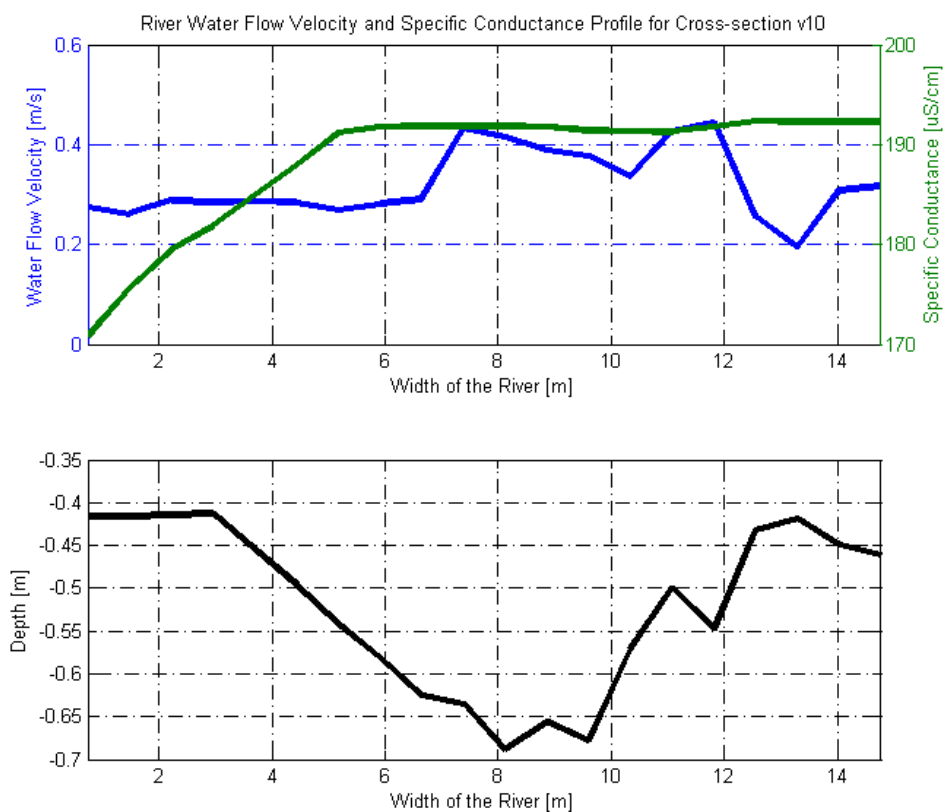
Kuvio 5. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v4b uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



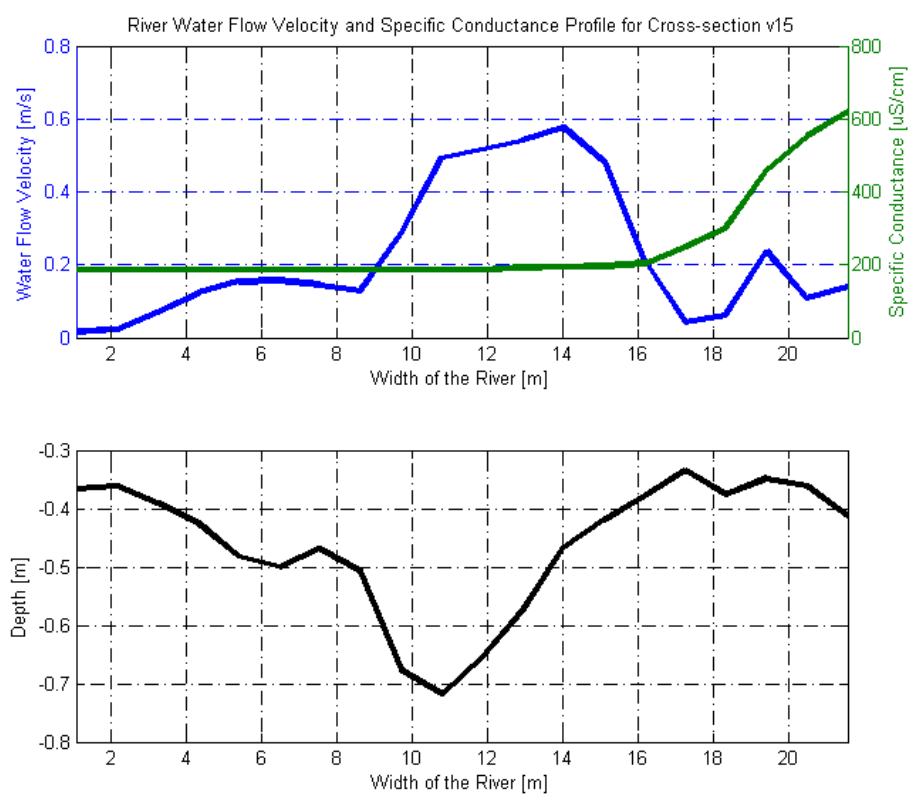
Kuvio 6. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v7 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



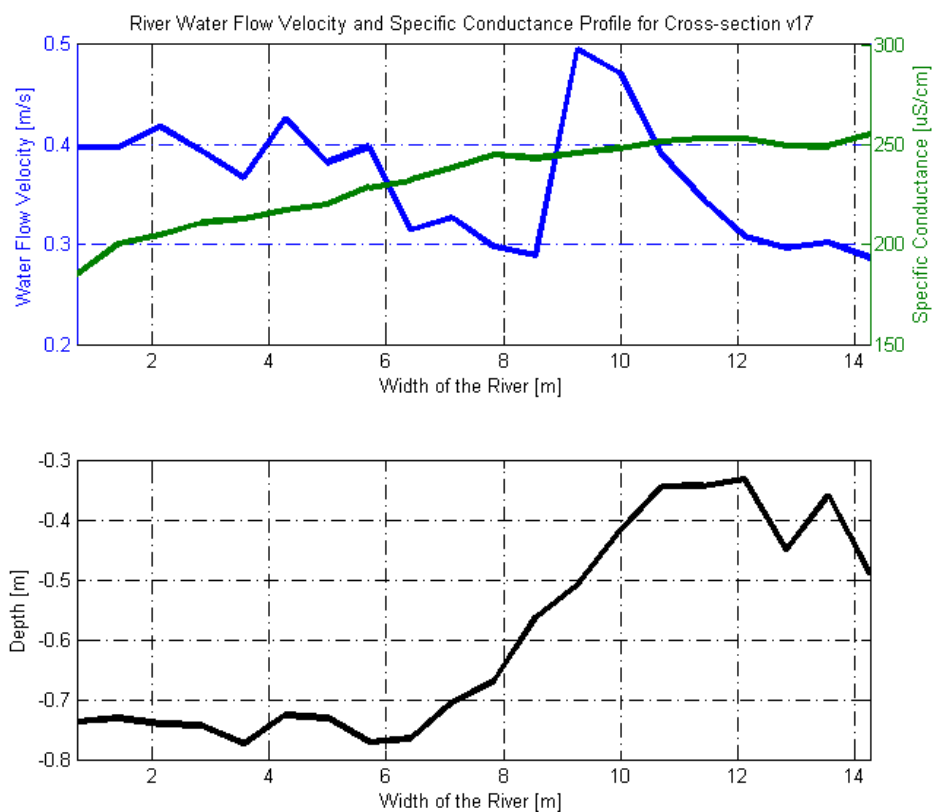
Kuvio 7. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v7 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



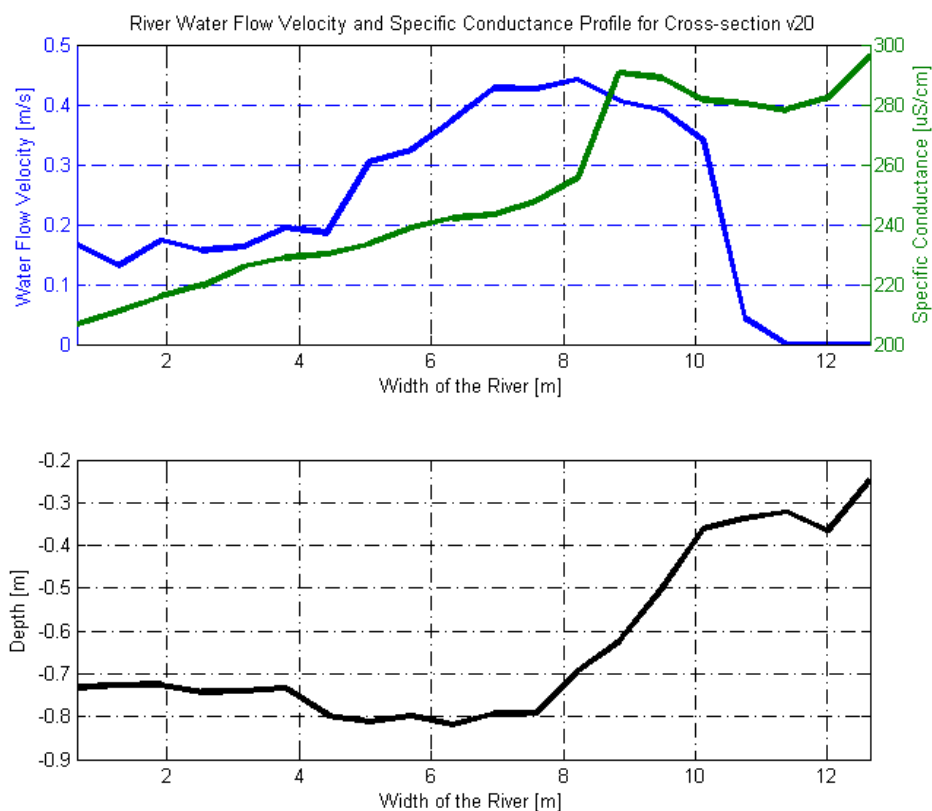
Kuvio 8. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v10 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



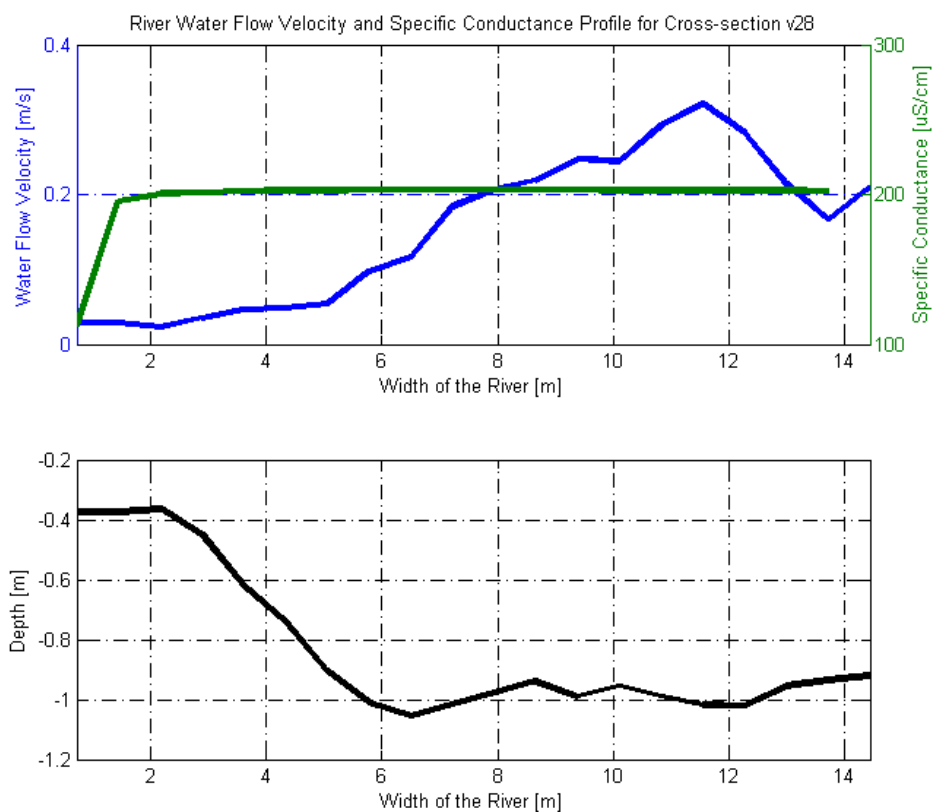
Kuvio 9. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v15 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



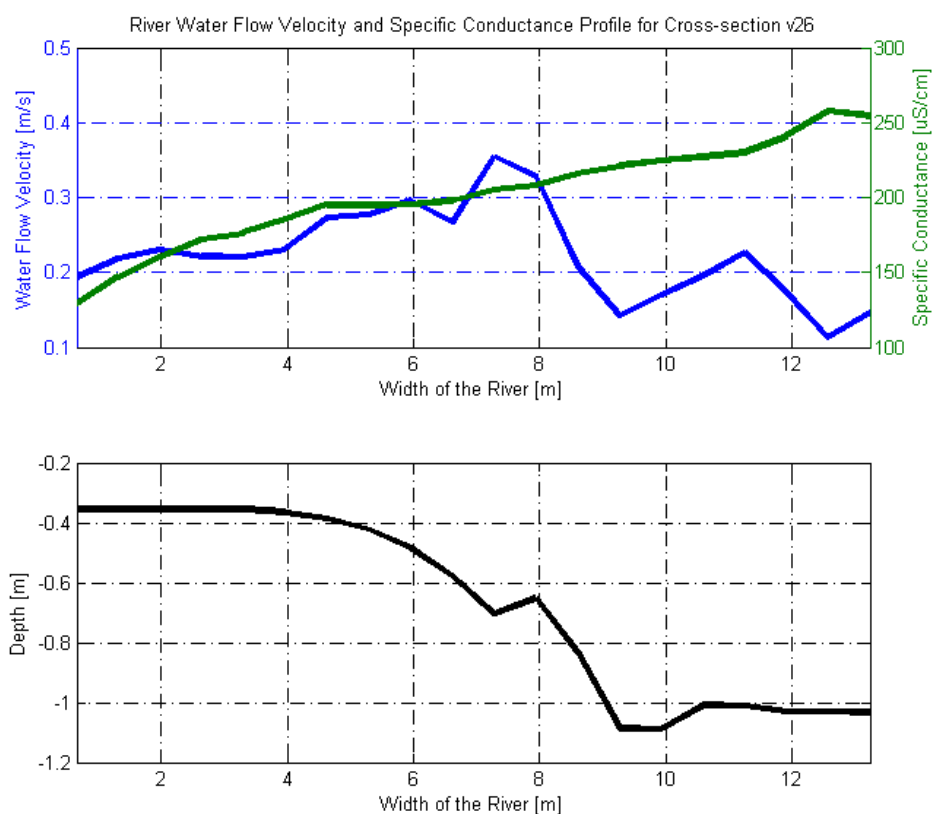
Kuvio 10. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v17 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



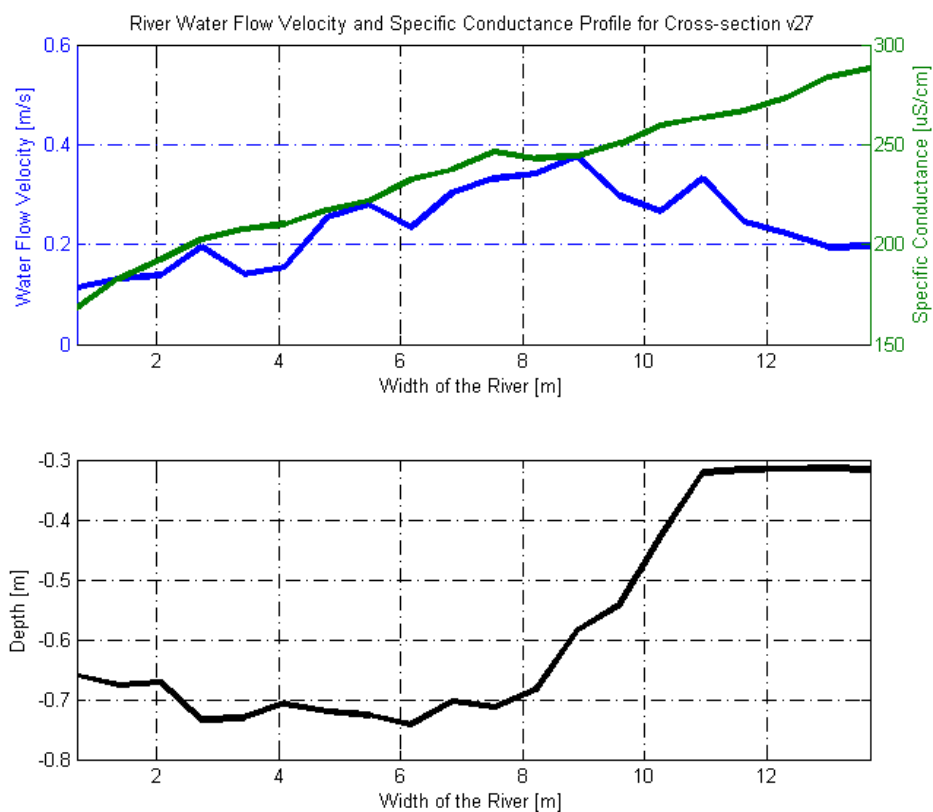
Kuvio 11. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v20 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



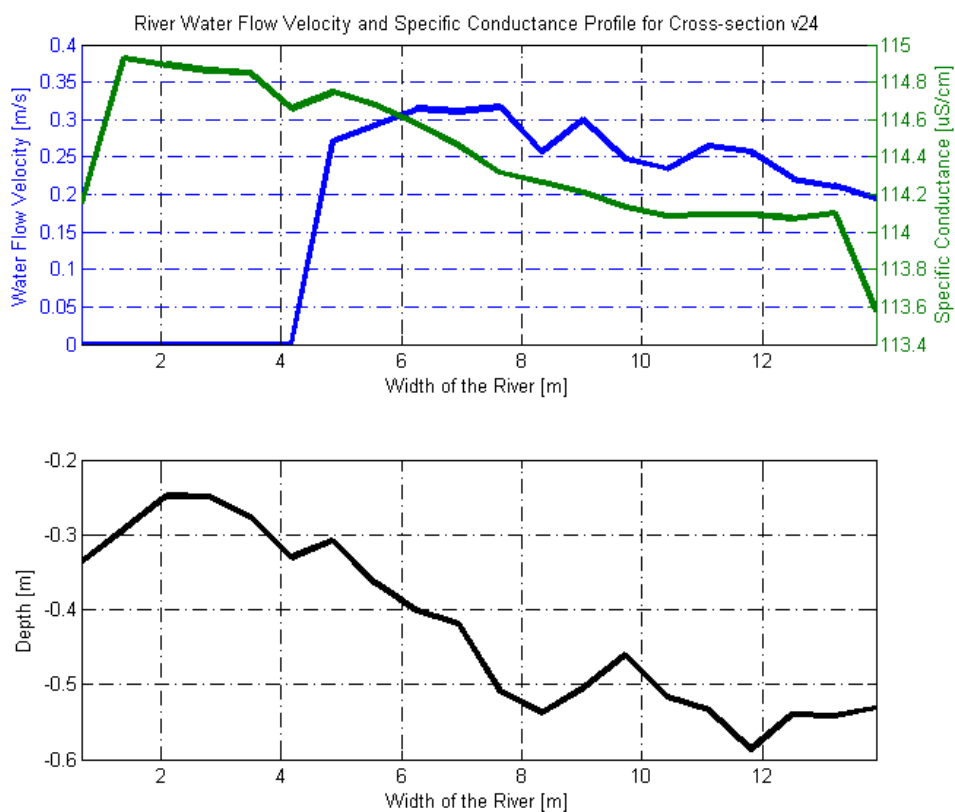
Kuvio 12. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v28 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



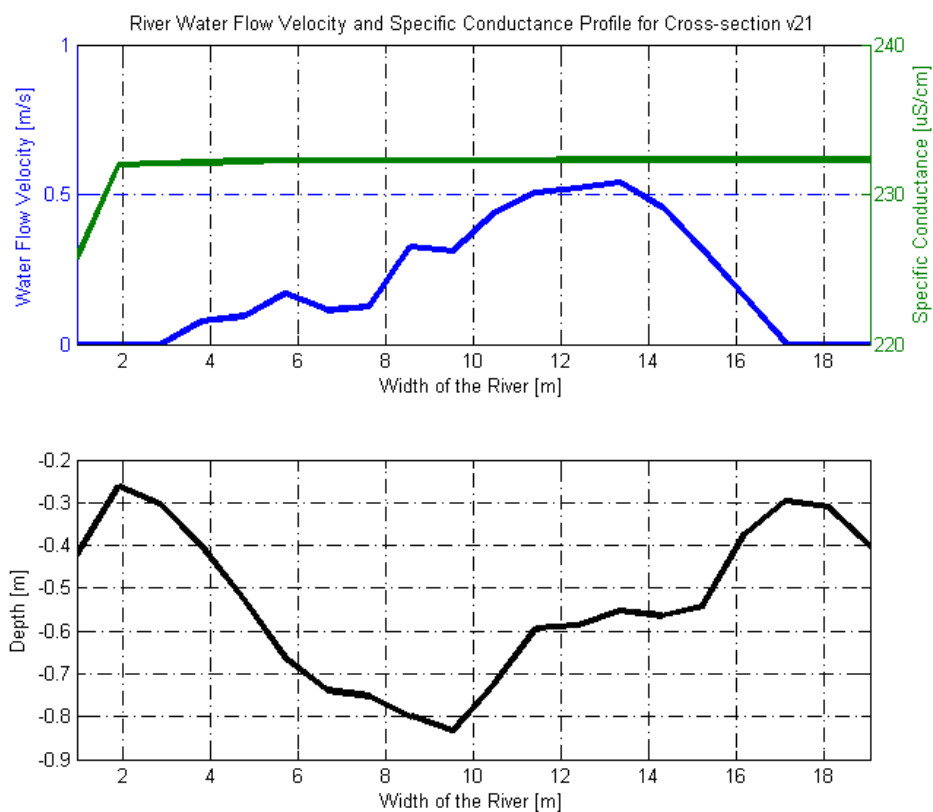
Kuvio 13. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v26 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



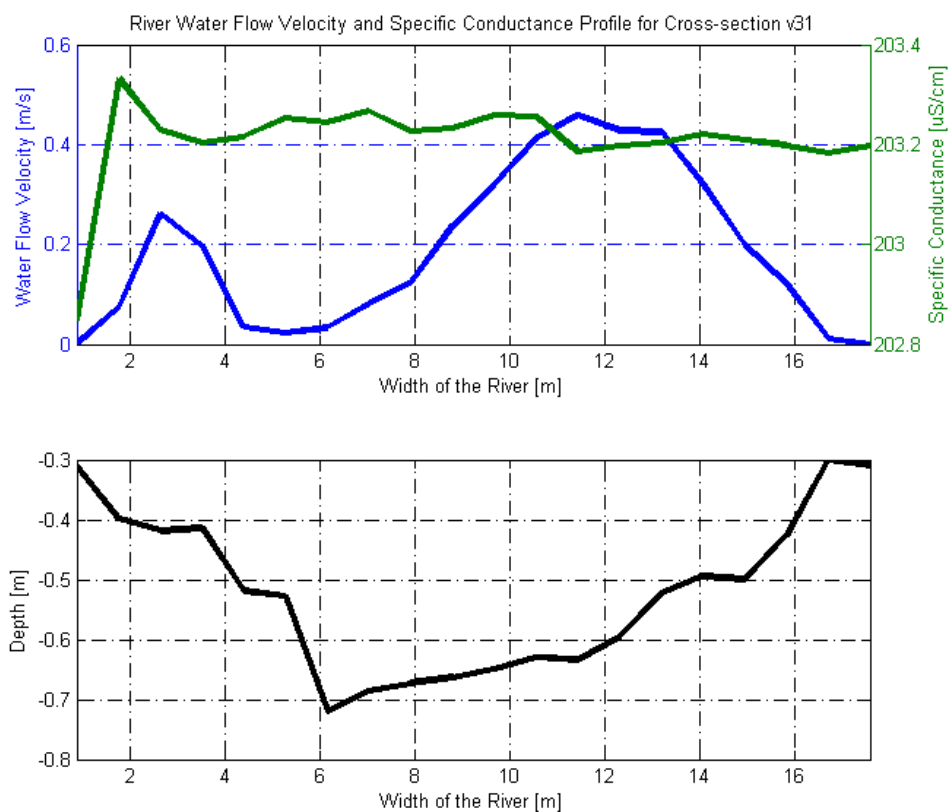
Kuvio 14. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v27 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



Kuvio 15. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v24 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)



Kuvio 16. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v21 uoman poikkileikkausprofiilissa (elokuu 2014)



Kuvio 17. Virtausnopeus, lämpötilakorjattu sähkönjohtavuus, syvyys ja joen leveys mittauspisteen v31 uoman poikkileikkausprofiilissa (syyskuu 2014)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tarkasteltiin kaivoksen ohi virtaavan Seurujoen vesitasetta huomioiden kaivoksen vaikutus, sekä sähkönjohtavuuden vaakasuuntaista jakautuneisuutta jokiuomassa ennen kaivoksen kuormitusta, sekä sen sekoittumista ja laimenemista kaivoksen alapuolisella jokiosuudella. Vesitasetarkasteluun saatiin luotettavuutta, kun virtausmittauksia tehtiin kahtena eri ajankohtana, jolloin Seurujoen virtaamat olivat poikkeavia toisistaan. Toisaalta vähäinen virtaus Seurujoessa asetti haasteita virtaaman mittaamisessa syyskuussa.

ADCP-mittaus osoittautui haastavaksi toteuttaa avouomassa. Seurujoki on uomaprofiililtaan vaihteleva ja joessa on tarkasteluosuudella jyrkkiä suunnan muutoksia, eikä ADCP-mittauksen vaatimuksia täyttäviä kohtia ole runsaasti. Vaikka uoman muoto ja joen suoruusehto täytyivät, saattoi runsas pohjakasvillisuus häiritä kaikuja lähettävää sensoriyksikköä. Myös pienen joen puromaisuus ja mataluus häiritsi mittauksia joillakin jokiosuuksilla, kuten pintavalutuskentän 1 purkualueen kohdalla. RiverSurveyor M9 -laitteen käyttäjän pitää olla koulutettu henkilö, jotta mittaustuloksista saadaan luotettavia. Paras vuodenaika mittauksille on alkukesä, jolloin kasvillisuus on vähäistä ja virtaamat keskiarvoa suurempia. Myös joen yleisprofiilin tunteminen edesauttaa mittauksien suunnittelua.

Seurujoen uomahäviöt kaivoksen kohdalla, jota positiivinen varastotermi kuvaa, voidaan selittää kaivostoiminnan aiheuttamalla muutoksella alueen pinta- ja pohjavesien virtauksiin. Noin 700 metrin syvyyteen ulottuva maanalainen tunneliverkosto ja sen kuivanapito, kaivospiirin alueella olevat avolouhokset ja alueen ruhjeinen kallioperä selittävät positiivista varastotermiä. Se ei ole hydrologisen opin mukaista, että uomasta poistuu niinkin suuria vesimääriä, mutta kaivospiirin alue ei ole luonnontilainen kaivostoiminnan vaikutuksesta johtuen, joten poikkeavia ilmiöitä voidaan olettaa tapahtuvan. Etäisyys linnuntietä tältä Seurujoen tarkastelu osuudelta maanalaisiin tunneleihin ja avolouhoksiin on noin 1 - 1,5 kilometriä. GTK:n tekemät isotooppitutkimukset Seurujoesta ja maanalaisesta kaivoksesta otetuista vesinäytteistä tukevat tätä tulkintaa ja osoittavat mahdollisen hydraulisen yhteyden joen ja maanalaisen kaivoksen veden välillä (Backnäs ja Turunen 2015-04-30). Osa tulkin-tana varastotermille voidaan pitää myös turvekerroksen imu- ja luovutuskykyä alavilla suoalueilla, jotka rajoittuvat Seurujokeen. Suon pintamaakerrokset ja turvekerros niin sanotusti imee kuivina kausina joen vettä ja päinvastoin luovuttaa, kun maa-aines on kyllästynyt vedellä. Toisaalta vuosi 2014 oli kuitenkin suhteellisen vähävetinen ja Seurujoen kesäkuukausien keskivirtaama oli alhainen, noin $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Taulukko 2). Jotta tarkempia johtopäätöksiä voitaisiin lausua vesitaseen osalta, olisi perusteltua toistaa virtaamamittaukset esimerkiksi tähän työhön valikoiduista mittauspisteistä kesäkuussa, jolloin virtaama on todennäköisesti suurempi ja mittauksia häiritsevää kasvillisuutta esiintyy vähemmän. Rimmin altaan virtaamamittausaseman mittaustarkkuus olisi perusteltua tarkistaa tämän työn tuloksien mukaan. Virtaamamittauksien perusteella kaivokselle ehdotetaan ELY:n Talvitienmu-kan mitta-aseman purkautumiskäyrän kalibroitua ja tarvittaessa mitta-aseman päivitystä. Myös talviaikaisen virtaamaennustemalliin olisi mahdollisesti syytä kiinnittää huomioita ja selvittää voiko virtaamaennustemallin rinnalle hankkia mittausperustaisen menetelmän.

Seurujoen sähkönjohtavuuden tausta-arvo oli loppukesällä noin 80 - 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kaivoksen yläpuolella. Prosessivesi laimeni noin 400 metrin matkalla koko uoman vesimassaan leveyssuunnassa ja nosti veden sähkönjohtavuuden noin 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kuivatusvesi laimeni jokiveteen hitaammin kuin prosessivesi, koska purkautumista tapahtuu useasta eri kohdasta noin puolen kilometrin matkalla. Kuivatusveden sekoittumista hidastavat pääpurun kohdalla uoman leveys ja mataluus, sekä suhteellisen hidas keskimääräinen virtausnopeus, joka oli 20 % vähemmän kuin prosessiveden purun kohdalla. Prosessiveden purun kohdalla suurimmat virtausnopeudet keskittyvät kaivoksen puoleiselle rannalle, joka tehostaa laimenemista. Huomioitava on myös, että kuivatusvesien purettava määrä on moninkertainen verrattuna prosessiveden määrään. Näiden tekijöiden vuoksi kuivatusvesien sekoittuminen ja laimeneminen Seurujoessa on hitaampaa kuin prosessivesien. Kuivatusvedet laimenivat koko uoman vesimassaan noin 1,5 kilometrin matkalla. Kuivatusvesien sekoittuminen ja laimeneminen olisi huomattavasti tehokkaampaa, jos ne johdettaisi uomassa sellaiseen kohtaan, jossa virtausnopeudet olisivat suhteellisen suuret. Elokuussa sähkönjohtavuus tasaantui arvoon 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Lintulan kylällä, joka sijaitsee noin 7 km alavirtaan kaivokselta. Kaivosvesien vaikutuksesta Seurujoen sähkönjohtavuus kohosi elokuussa noin 145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja vastaavasti syyskuussa noin 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jos mahdollisia luonnollisia tekijöitä sähkönjohtavuuden muuttumiseen ei huomioida, kuten luonnonojien kuormitusta. Syyskuun matalampi sähkönjohtavuus johtuu todennäköisimmin prosessiveden purun virtaamasta, joka oli elokuun lopun ja syyskuun ajan hyvin vähäistä. Kaivoksen vedenottoon Seurujoesta kannattaisi kiinnittää huomiota ja siirtää pumppausputki vastarannalle tai prosessiveden purun yläpuolelle, jotta raakaveden laatu vaihtelu olisi vähäisempää ja se olisi laadultaan puhtaampaa rikastamon käyttöön. Raakavedenotto sijaitsee samalla puolella jokea noin 180 metriä prosessiveden purkautumiskohdasta alajuoksulle.

Kuten tässä työssä on esitetty, kaivosvesien mukana tulevien haitta-aineiden sekoittumista ja laimenemista voidaan tutkia virtauspoikkileikkauksien avulla. CastAway CTD- laite soveltuu hyvin myös vaakasuuntaiseen profilointiin. Virtaus- ja sähkönjohtavuusdatan yhdistäminen edellyttää syvempää tietoteknillistä osaamista, mutta on mahdollista, ja tuloksilla voidaan suoraan osoittaa miten nopeaa laimeneminen on. Sähkönjohtavuutta voitaisiin mitata useasta eri syvyydestä, jotta poikkileikkauksella saataisiin myös tieto sähkönjohtavuuden pystysuuntaisesta jakautumisesta uomassa. Tässä työssä hyödynnetyllä RiverSurveyorM9 ja CastAway CTD -mittausmenetelmien yhdistelmää voitaisiin käyttää laadittaessa perustilaselvityksiä ja YVA-selostuksia ennen kaivostoiminnan aloittamista, sekä suunniteltaessa optimaalista purkumenetelmää ja -sijaintia tai kaivostoiminnan aikana kehitettäessä kaivoksen vesien hallintaa. Kaivoksien keskeisintä ympäristövaikutusta, vesistökuormitusta, saataisiin näin vähennettyä.

Ympäristöön johdettavien kaivosvesien luvitus perustuu ympäristö- ja vesitalouslupiin, joiden takana on ympäristönsuojelulaki. Lakiin pohjautuvan luvan perustana täytyy olla luotettavat ja todellisuutta kuvaavat mittausmenetelmät. Luotettava virtaamamittaus pitäisi varmentaa säännöllisin väliajoin toisella menetelmällä, ja jatkuvatoimisia mittauspisteitä olisi hyvä olla vähintään kaksi, kaivoksen ylä- ja alajuoksulla. Virtaaman monitorointiin voisi yhdistää jatkuvatoimisen sähkönjohtavuusmittauksen, johon olisi asetettu hälytysrajat. Maltillisen investoinnin hyödyt olisivat huomattavat ja monitoroinnista tulisi osa kaivoksen riskienhallintaa, sekä kuormituksen määrää voitaisiin suhteuttaa

luonnontilaiseen tausta-arvoon. CTD-mittauksien ja virtausdatan perusteella voidaan löytää ne keskeiset sijainnit joesta, jonne mitta-asetat olisi perusteltua sijoittaa. Tämän työn mittaustuloksien mukaan ehdotetaan, että kaivoksen olisi perusteltua mitata jatkuvatoimisesti virtaamaa ja sähkönjohtavuutta Talvitienmukasta, sekä mittauspisteessä v28 ja Lintulan kylän sillalta. Sähkönjohtavuuden mittauskohdan pitäisi tutkimuksien mukaan olla näissä pisteissä uoman keskisyvyyden alapuolella keskellä uomaa, jotta se kuvaisi todellista kaivoksen kuormituksen määrää ja joen veden laatua. Myös kaivosalueelta lähteviin prosessi- ja kuivatusvesien mittakaivoihin voisi lisätä jatkuvatoimisen tai säännöllisen kertaluontoisen sähkönjohtavuusmittauksen nykyisten veden laatuparametrien lisäksi.

Tämä tutkimus osoittaa, että nykyisillä kaivoksilla ja tulevien kaivoksien YVA-hankkeissa on tärkeää ohjata resursseja paikalliseen vesistötutkimukseen, virtaamien luotettavaan mittaamiseen, sekä koko kaivosalueen vesitaseen määrittämiseen.

LÄHTEET

ALUEHALLINTOVIRASTO 2013. Kittilän kaivoksen toiminnan laajentaminen ja ympäristö- ja vesitalousluvan tarkistaminen. Ympäristöluvat. Lupapäätös Nro 72/2013/1. Dnro PSAVI/100/04.08/2011. (lupapäätös ei ole lainvoimainen) [Viitattu 2015-03-18] Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56958/psavi_paatos_72_2013_1-2013-06-26.pdf/68dd28c2-8036-4107-9b17-01c0c5c87b76

BACKNÄS, Soile ja TURUNEN, Kaisa 2015-04-30. Tutkimusryhmä. [Haastattelu] Kuopio: Geologian tutkimuskeskus

CHAUDHRY, Hanif M. 2007. Open-Channel Flow Second Edition. New York: Springer Science & Business Media. Saatavissa: [https://books.google.fi/books?id=vqD7cYhX1oC&dq=Chaudhry+M+\(2008\)+Open-Channel+Flow,+Second+Edition.+New+York.+Springer&lr=&hl=fi&source=gbs_navlinks_s](https://books.google.fi/books?id=vqD7cYhX1oC&dq=Chaudhry+M+(2008)+Open-Channel+Flow,+Second+Edition.+New+York.+Springer&lr=&hl=fi&source=gbs_navlinks_s)

CHRISTIANSEN, David 2013. Flow Around a Dredge Spoil Island in a Shallow Estuary During Peak Tidal Currents. University of Texas at Austin. Master of Science in Engineering. Thesis. [Viitattu 2015-03-04] Saatavissa: <http://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/23641/CHRISTIANSEN-THESIS-2013.pdf?sequence=1>

EHP-TEKNIikka 2013. EHP-MS Tekniset tiedot ja EHP-USF Virtaaman mittaaminen maasto-olosuhteissa. [Viitattu 2015-04-13] Saatavissa: <http://www.ehp-tekniikka.fi/index.php?p=Mittakaivotjamittapadot> ja <http://www.ehp-tekniikka.fi/index.php?p=Virtaamamittausputkissa>

FLENER, Claude 2015-04-16. ADCP-mittaukset [Sähköpostiviesti].

FLENER, Claude 2015. Remote sensing for three-dimensional modelling of hydromorphology. University of Turku. Faculty of Mathematics and Natural Sciences. Department of Geography and Geology. Geography Division. Väitöskirja Sarja A II 302.

FMI:n avoindata 2015. Ilmatieteenlaitos. [Viitattu 2015-05-19] Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>

GELFENBAUM, Guy, MACMAHAN Jamie ja RENERS, Ad ja EDWIN, Elias 2014. Field and Numerical Study of the Colombia River Mouth. [Viitattu 2015-04-13] Saatavissa: <http://www.onr.navy.mil/reports/FY14/logelfen.pdf>

GWM-ENGINEERING 2015. Virtausmittausten toimintaperiaatteet, sovellukset ja tulosten mallintaminen. Esitysmateriaali.

HUHTA, Craig ja SLOAT, John 2007. Discharge Uncertainty Calculations Using a SonTek FlowTracker. SonTek YSI Inc. Technical Note. [Viitattu 2015-04-09] Saatavissa: <http://www.water-monitor.com/documents/SonTek-FlowTracker-Application-Notes.pdf>

HUTTULA, Timo 2008. Avouomavirtauksen perusteet. Jyväskylän yliopisto. Kurssimateriaali. [Viitattu 2015-03-25] Saatavissa: http://users.jyu.fi/~thuttula/Lake&Stream_Hydrology/For_UJ_and_UH_students/Avouomavirtaus.pdf

HÄMÄLÄINEN, Emmy 2015. Kittilän kaivoksen käsiteltyjen kuivatus- ja prosessivesien vaikutukset kaivoksen alapuolisessa vesistössä. Savonia ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 05-05-2015] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91769/Hamalainen_Emy.pdf?sequence=1

HÄMÄLÄINEN, Matias 2014-08-29. Kesätyöntekijä. [Kenttähavainnot kesällä 2014] Kittilä: Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos

JAMIESON E. C. , RENNIE C. D. , JACOBSON R. B. , TOWNSEND R. D. 2011. 3-D flow and scour near a submerged wing dike: ADCP measurements on the Missouri River. Julkaisussa: American Ge-

ophysical Union. Water Resources Research (Issue 7). DOI: 10.1029/2010WR010043 Saatavissa: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010WR010043/full>

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, EKHOLM, Petri, HUTTULA, Timo, MAKKONEN, Hannu ja LOUKOLA-RUSKEENNIEMI, Kirsti 2015. Opas - Ympäristövaikutusten arviointimenettely kaivoshankkeissa. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). [Viitattu 2015-04-15] Saatavissa: http://www.tem.fi/files/42427/TEM_opas_3_2015_Ymparistovaikutusten_arviointimenettely_kaivoshankkeissa_12032015.pdf

KARVONEN, Tuomo 2003. Hydraulikka. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki. Vesitalous ja vesirakennus, kurssimateriaali.

KARVONEN, Tuomo 2002. Hydraulics, Computational aspect of flow in open channels and in pipe systems. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki. Vesilaboratorio, kurssimateriaali.

KORHONEN, Johanna 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Helsinki: Suomen Ympäristökeskuksen julkaisu, Suomen Ympäristö 45/2007. [Viitattu 2015-03-31] Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38428/SY_45_2007.pdf?sequence=3

KUKKONEN, Minna 2012. Opas Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaan. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. [Viitattu 2015.04.09] Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp245.pdf>

KUMAR, Vijay 2011. Hysteresis. Julkaisussa: SINGH, Vijay, SINGH, Pratap, HARITASHYA, Umesh 2011. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Alankomaat: Springer Science & Business Media, 554-555. ISBN 9789048126415 [Viitattu 2015-05-12] Saatavissa: https://books.google.fi/books?id=mKKtQR4T-1MC&pg=PR12&lpg=PR12&dq=HYSTERESIS+Vijay+Kumar&source=bl&ots=6UV9th3rte&sig=eXOm0segq_0mZYMS20qxhZVs8k&hl=fi&sa=X&ei=icZVVeC9GsiksAGgiIDICg&ved=0CCgQ6AEwAQ#v=onepage&q=HYSTERESIS%20Vijay%20Kumar&f=false

LAPIN VESITUTKIMUS 2001. Suurkuusikon kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostus. Riddarhyttan Resources AB. [Viitattu 2015-02-24] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B839C4D3A-F672-4DBD-8327-A659C948B85D%7D/43197>

NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY 2000. Department of Defense World Geodetic System 1984. U.S.A: NIMA TR8350.2, 3rd edition amendment 1. [Viitattu 2015-04-15] Saatavissa: <http://www.pha.jhu.edu/~hanish/wgs84fin.pdf>

OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2015. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. Valtion ympäristöhallinnon virastot. [Viitattu 2015-05-01] Saatavissa: www.ymparisto.fi/OIVA

PIEKKARI, Markus 2014-05-01. Ympäristöinsinööri. [Haastattelu] Kittilä: Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos.

PÖYRY FINLAND OY 2012. YVA-selostus, Kittilän kaivoksen laajennus. 16WWE0797.B720M.SLU. [Viitattu 2015-02-26] Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B4AECEDEFB-4E18-495E-B83B-292BAF5D8234%7D/77346>

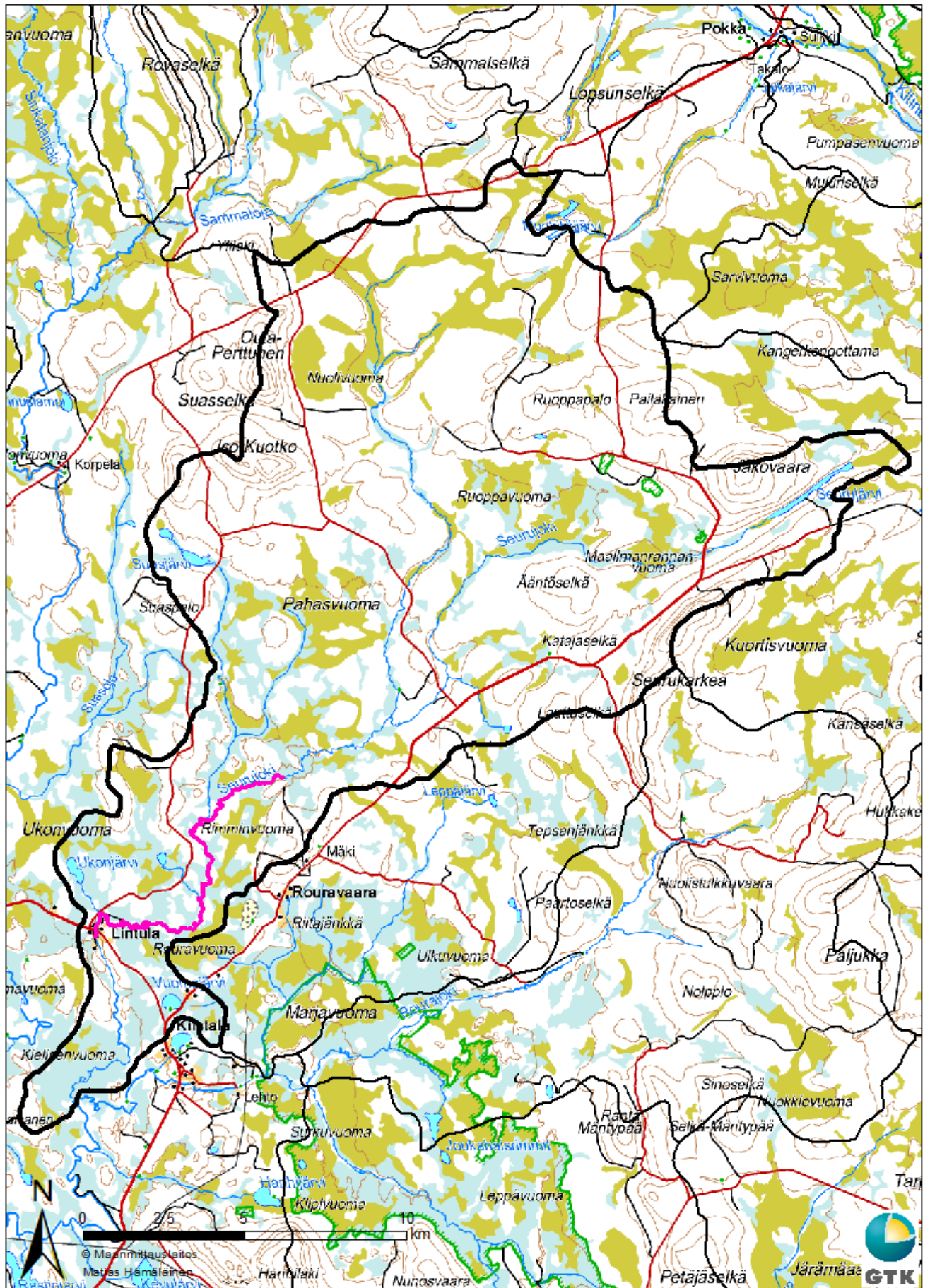
RAMBOLL 2015. Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivoksen vesipäästöjen tarkkailu. Vuosiraportti 2014.

RONKANEN, Anna-Kaisa, HEIDERSCHIEDT, Elisangela, KLÖVE, Björn 2012. Tutkimukset Kittilän kultakaivoksen prosessivesiä ja kuivatusvesiä käsittelevillä kosteikoilla. Oulun yliopisto.

SALMINEN, Martti 2015-04-01. ELY:n Talvitiemukan virtausmittaus. [Sähköpostiviesti].

- SCULLY, M. E. ja GREYER W. R. 2012. The role of advection, straining, and mixing on the tidal variability of estuarine stratification. *Journal of Physical Oceanography* 42(5) 855–868. [Viitattu 2015-03-09] Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1175/JPO-D-10-05010.1>
- SIPPEL, Kalle 2010. Algoritmin ja korkeusmallin resoluution vaikutus valuma-alueen laskentatulokseen. Aalto-Yliopisto. Maanmittaustieteiden laitos. Diplomityö. [Viitattu 2015-04-20] Saatavissa: http://maa.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e3bf12b5d873a6bf1211e391bc4f13d8c720f320f3/2010_sippel_k.pdf
- SONTEK 2014. Yrityksen www-sivut [Viitattu 2015-04-02] Saatavissa: <http://www.sontek.com/productsdetail.php?RiverSurveyor-S5-M9-14>
- SONTEK 2012. CastAway CTD User´s Manual 1.5. [Viitattu 2015-04-15] Saatavissa: <http://www.hydroscientificwest.com/cms/docs/CastAway%20CTD%20Users%20Manual.pdf>
- SONTEK 2010. River Surveyor S5/M9 SmartPulseHD® Feature. Technical Note. [Viitattu 2015-04-02] Saatavissa: www.sontek.com
- SONTEK 2007. Discharge Uncertainty Calculations Using a SonTek FlowTracker. Application Note. [Viitattu 2015-04-09] Saatavissa: <http://www.water-monitor.com/documents/SonTek-FlowTracker-Application-Notes.pdf>
- SONTEK 2011. RiverSurveyor S5/M9 System Manual 1.5. [Viitattu 2015-04-02] Saatavilla: <http://werc.engr.uaf.edu/~ken/minitoughbook/Measurements/sontek/rslive/RiverSurveyor%20Live%20Manual.pdf>
- SMOLANDER, Miia 2011. Vesitase ojitetussa suometsikössä. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Diplomityö. [Viitattu 2015-05-29] Saatavissa: http://civil.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e4900fa895a79e900f11e49f8727f95259d2d1d2d1/smolander2011_uusi.pdf
- SZUPIANY, R. N. , AMSLER M. L. , BEST J. L. ja PARSONS D. R. 2007. Comparison of fixed- and moving-vessel flow measurements with an aDp in a large river. Julkaisussa: *Journal of Hydraulic Engineering* 12, SPECIAL ISSUE: Acoustic Velocimetry for Riverine Environments. U.S.A: American Society of Civil Engineers 1299-1309. Saatavissa: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:12\(1299\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:12(1299))
- TUUKKANEN, Tapio 2010. RiverLifeGIS -paikkatietotyökalun soveltuvuus turvemetsätalouden oja-eroosioriskin arviointiin. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio. Diplomityö. [Viitattu 2015-05-10] Saatavissa: <http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/tapiotuukkanen.pdf>
- WILLIAMS, R. , BRASINGTON, J. , HICKS, M. , MEASURES, R. , RENNIE, C. , VERICAT, D. 2013. Hydraulic validation of two-dimensional simulations of braided river flow with spatially continuous aDcp data. Julkaisussa: *American Geophysical Union. Water Resources Research*. 5183–5205. DOI: 10.1002/wrcr.20391 Saatavissa: <http://cadair.aber.ac.uk/dspace/bitstream/handle/2160/11162/wrcr20391.pdf?sequence=1>
- YORKE, Thomas H. ja OBERG, Kevis A. 2002. Flow Measurement and Instrumentation, Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers. Julkaisussa: *Delsing J. Flow Measurement and Instrumentation*. Sweden: Elsevier, 191-195 doi:10.1016/S0955-5986(02)00051-1 Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09555986/13/5>

LIITE 1: Seurujen tutkimusalue ja valuma-alue SYKE:n 3. jaon mukaan



LIITE 2: Mittausraportti v15 kuivatusveden purun alapuolelta

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Wednesday, August 27, 2014								
Site Information					Measurement Information													
Site Name					Sourujoki					Party				gwm cf				
Station Number					18					Boat/Motor				tb9				
Location					v15					Meas. Number								
System Information					System Setup						Units							
System Type		RS-M9			Transducer Depth (m)		0.06				Distance		m					
Serial Number		4414			Salinity (ppt)		0.0				Velocity		m/s					
Firmware Version		3.50			Magnetic Declination (deg)		9.7				Area		m ²					
Software Version		3.7									Discharge		m ³ /s					
											Temperature		degC					
Discharge Calculation Settings										Discharge Results								
Track Reference		Bottom-Track		Left Method		Sloped Bank						Width (m)		21.554				
Depth Reference		Vertical Beam		Right Method		Sloped Bank						Area (m ²)		8.584				
Coordinate System		ENU		Top Fit Type		Power Fit						Mean Speed (m/s)		0.284				
				Bottom Fit Type		Power Fit						Total Q (m ³ /s)		2.433				
												Maximum Measured Depth		0.741				
												Maximum Measured Speed		1.024				
Measurement Results																		
Tr	Time		Distance			Mean Vel		Discharge							%			
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured	
1	L 2:30:15 PM	0:02:47	10.9	19.22	13.16	21.156	8.457	0.115	0.291	0.00	0.05	0.60	1.52	0.29	2.462	--	61.7	
2	R 2:33:33 PM	0:03:12	11.0	22.53	13.95	21.953	8.710	0.117	0.276	0.04	0.07	0.58	1.46	0.27	2.404	--	60.6	
			Mean	11.0	20.88	13.55	21.554	8.584	0.116	0.284	0.02	0.06	0.59	1.49	0.28	2.433	0.000	61.1
			Std Dev	0.0	1.65	0.40	0.398	0.126	0.001	0.008	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.029	0.000	0.6
			COV	0.0	0.079	0.029	0.018	0.015	0.010	0.026	0.974	0.116	0.020	0.021	0.035	0.012	0.000	0.009
Exposure Time: 0:05:59																		
Tr1=20140827142844.riv; Tr2=20140827143202.riv;																		
Comments																		
Tr1=20140827142844.riv - ; Tr2=20140827143202.riv - ;																		
Compass Calibration																		
Passed Calibration																		
Calibration duration = 71 seconds																		
M6.00 = Magnetic influence is acceptable																		
Q9 = Magnetic field is uniform																		
H9 = Complete horizontal rotation																		
V6 = High pitch/roll																		
Recommendation(s):																		
Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration.																		
Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																		
System Test																		
System Test: PASS																		
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																		
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7																		

LIITE 3: Mittausraportti v7 prosessiveden purun alapuolelta

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Wednesday, August 27, 2014									
Site Information					Measurement Information														
Site Name					Sourujoki					Party				gwm cf					
Station Number					10					Boat/Motor				tb9					
Location					v7					Meas. Number									
System Information					System Setup							Units							
System Type					RS-M9		Transducer Depth (m)			0.06				Distance		m			
Serial Number					4414		Salinity (ppt)			0.0				Velocity		m/s			
Firmware Version					3.50		Magnetic Declination (deg)			9.7				Area		m ²			
Software Version					3.7									Discharge		m ³ /s			
														Temperature		degC			
Discharge Calculation Settings										Discharge Results									
Track Reference		Bottom-Track			Left Method		Sloped Bank			Width (m)		12.417							
Depth Reference		Vertical Beam			Right Method		Sloped Bank			Area (m ²)		7.635							
Coordinate System		ENU			Top Fit Type		Power Fit			Mean Speed (m/s)		0.342							
							Bottom Fit Type		Power Fit			Total Q (m ³ /s)		2.612					
										Maximum Measured Depth		0.796							
										Maximum Measured Speed		1.031							
Measurement Results																			
Tr	Time		Distance			Mean Vel		Discharge						%					
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured		
1	L 9:47:37 AM	0:02:37	11.0	12.28	10.36	12.361	7.853	0.078	0.331	0.02	0.01	0.52	1.73	0.33	2.600	--	66.5		
2	R 9:50:48 AM	0:02:04	10.8	12.29	10.52	12.522	7.661	0.099	0.348	0.02	0.01	0.54	1.76	0.34	2.666	--	66.1		
3	L 9:52:59 AM	0:01:50	10.7	11.60	10.25	12.249	7.467	0.105	0.346	0.02	0.00	0.51	1.73	0.32	2.580	--	67.2		
4	R 9:55:07 AM	0:02:14	10.6	12.17	10.54	12.536	7.557	0.091	0.344	0.01	0.01	0.51	1.75	0.33	2.600	--	67.1		
Mean			10.8	12.09	10.42	12.417	7.635	0.093	0.342	0.02	0.01	0.52	1.74	0.33	2.612	0.000	66.7		
Std Dev			0.1	0.29	0.12	0.119	0.144	0.010	0.007	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.033	0.000	0.4		
COV			0.0	0.024	0.011	0.010	0.019	0.109	0.019	0.103	0.398	0.026	0.008	0.024	0.012	0.000	0.007		
Exposure Time: 0:08:45																			
Tr1=20140827094607.riv; Tr2=20140827094918.riv; Tr3=20140827095129.riv; Tr4=20140827095337.riv;																			
Comments																			
Tr1=20140827094607.riv - ; Tr2=20140827094918.riv - ; Tr3=20140827095129.riv - ; Tr4=20140827095337.riv - ;																			
Compass Calibration																			
Passed Calibration Calibration duration = 71 seconds M6.00 = Magnetic influence is acceptable Q9 = Magnetic field is uniform H9 = Complete horizontal rotation V6 = High pitch/roll Recommendation(s): Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration. Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																			
System Test																			
System Test: PASS																			
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																			
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7																			

LIITE 4: Mittausraportti v4 Talvitienmukka

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Tuesday, August 26, 2014								
Site Information					Measurement Information													
Site Name					Seurujoki					Party				gwm cf				
Station Number					6					Boat/Motor				tb9				
Location					v4					Meas. Number								
System Information				System Setup						Units								
System Type		RS-M9		Transducer Depth (m)		0.06				Distance		m						
Serial Number		4414		Salinity (ppt)		0.0				Velocity		m/s						
Firmware Version		3.50		Magnetic Declination (deg)		9.7				Area		m ²						
Software Version		3.7								Discharge		m ³ /s						
										Temperature		degC						
Discharge Calculation Settings										Discharge Results								
Track Reference		Bottom-Track		Left Method		Sloped Bank				Width (m)		11.990						
Depth Reference		Vertical Beam		Right Method		Sloped Bank				Area (m ²)		8.533						
Coordinate System		ENU		Top Fit Type		Power Fit				Mean Speed (m/s)		0.332						
				Bottom Fit Type		Power Fit				Total Q (m ³ /s)		2.831						
										Maximum Measured Depth		0.985						
										Maximum Measured Speed		0.907						
Measurement Results																		
Tr	Time		Distance				Mean Vel		Discharge						%			
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured	
1	R 6:07:37 PM	0:02:37	11.2	14.59	10.45	12.446	8.800	0.093	0.335	0.01	0.02	0.50	2.03	0.40	2.944	--	68.8	
2	L 6:10:45 PM	0:02:43	11.0	11.85	9.49	11.486	8.268	0.073	0.340	0.00	0.02	0.47	1.98	0.38	2.813	--	68.7	
3	R 6:14:44 PM	0:01:54	11.0	10.29	9.69	11.691	8.409	0.090	0.337	0.00	0.04	0.48	1.95	0.37	2.833	--	68.7	
4	L 6:17:24 PM	0:02:57	10.9	13.38	10.34	12.337	8.654	0.076	0.316	0.01	0.01	0.45	1.91	0.36	2.735	--	69.8	
			Mean	11.0	12.53	9.95	11.990	8.533	0.083	0.332	0.00	0.02	0.47	1.95	0.38	2.831	0.000	69.0
			Std Dev	0.1	1.62	0.41	0.410	0.207	0.009	0.009	0.00	0.01	0.02	0.04	0.01	0.075	0.000	0.4
			COV	0.0	0.129	0.041	0.034	0.024	0.107	0.028	0.924	0.415	0.036	0.022	0.038	0.026	0.000	0.006
Exposure Time: 0:10:11																		
Tr1=20140826165432.riv ; Tr2=20140826165741.riv ; Tr3=20140826170140.riv ; Tr4=20140826170420.riv ;																		
Comments																		
Tr1=20140826165432.riv - ; Tr2=20140826165741.riv - ; Tr3=20140826170140.riv - ; Tr4=20140826170420.riv - ;																		
Compass Calibration																		
Passed Calibration Calibration duration = 75 seconds M2.00 = Magnetic influence is acceptable Q9 = Magnetic field is uniform H9 = Complete horizontal rotation V6 = High pitch/roll Recommendation(s): Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration. Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																		
System Test																		
System Test: PASS																		
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																		
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7																		

LIITE 5: Mittausraportti v4b Talvitiemukka

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Friday, September 19, 2014								
Site Information					Measurement Information													
Site Name					Seurujoki					Party				gwm c/f				
Station Number					v4b					Boat/Motor				TB9				
Location										Meas. Number								
System Information					System Setup							Units						
System Type		RS-M9			Transducer Depth (m)		0.06					Distance		m				
Serial Number		4414			Salinity (ppt)		0.0					Velocity		m/s				
Firmware Version		3.50			Magnetic Dedination (deg)		10.8					Area		m ²				
Software Version		3.7										Discharge		m ³ /s				
												Temperature		degC				
Discharge Calculation Settings										Discharge Results								
Track Reference		GPS-GGA			Left Method		Sloped Bank						Width (m)		9.721			
Depth Reference		Vertical Beam			Right Method		Sloped Bank						Area (m ²)		5.317			
Coordinate System		ENU			Top Fit Type		Power Fit						Mean Speed (m/s)		0.286			
					Bottom Fit Type		Power Fit						Total Q (m ³ /s)		1.521			
													Maximum Measured Depth		0.862			
													Maximum Measured Speed		1.340			
Measurement Results																		
Tr	Time			Distance				Mean Vel		Discharge						%		
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MB Total	Measured	
1 L	8:29:07 AM	0:03:30	5.0	10.04	8.69	10.588	5.360	0.018	0.315	0.02	0.08	0.32	0.99	0.23	1.628	-	60.6	
2 R	8:36:09 AM	0:03:13	4.9	11.58	7.82	9.720	5.381	0.060	0.303	0.00	0.07	0.32	1.00	0.24	1.631	-	61.1	
3 L	8:40:10 AM	0:03:44	4.9	7.76	7.08	9.579	5.318	0.035	0.257	0.03	0.07	0.26	0.83	0.19	1.369	-	60.4	
4 R	8:44:20 AM	0:04:25	5.0	9.08	7.88	9.780	5.529	0.034	0.289	0.01	0.06	0.31	0.99	0.22	1.598	-	61.8	
5 L	8:49:20 AM	0:04:12	5.0	8.53	7.62	9.522	5.233	0.034	0.268	0.01	0.07	0.28	0.84	0.19	1.401	-	59.9	
6 R	8:56:59 AM	0:04:21	5.0	8.90	7.24	9.136	5.281	0.034	0.284	0.01	0.08	0.29	0.92	0.21	1.502	-	61.3	
			Mean	4.9	9.32	7.72	9.721	5.317	0.041	0.286	0.01	0.07	0.30	0.93	0.21	1.521	0.000	60.9
			StdDev	0.0	1.22	0.52	0.439	0.117	0.020	0.01	0.01	0.02	0.07	0.02	0.106	0.000	0.6	
			COV	0.0	0.131	0.067	0.045	0.022	0.243	0.069	0.790	0.089	0.077	0.076	0.091	0.070	0.000	0.010
Exposure Time: 0:23:25																		
Tr1=20140919082906.riv; Tr2=20140919083607.riv; Tr3=20140919084009.riv; Tr4=20140919084419.riv; Tr5=20140919084918.riv; Tr6=20140919085657.riv;																		
Comments																		
Tr1=20140919082906.riv - ; Tr2=20140919083607.riv - ; Tr3=20140919084009.riv - ; Tr4=20140919084419.riv - ; Tr5=20140919084918.riv - ; Tr6=20140919085657.riv - sama sijainti kuin v4;																		
Compass Calibration																		
Passed Calibration CAUTION Calibration duration = 71 seconds M43.00 = Magnetic influence is acceptable Q9 = Magnetic field is uniform H9 = Complete horizontal rotation V8 = High pitch/roll Recommendation(s): Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration. Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																		
System Test																		
System Test: PASS																		
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																		
Report generated using SonTek RivaSurveyor Lite v3.7																		

LIITE 6: Mittausraportti v21 Lintula

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Wednesday, August 27, 2014							
Site Information					Measurement Information												
Site Name					Siurujoki					Party				gwm cf			
Station Number										Boat/Motor				tb9			
Location					v21					Meas. Number							
System Information				System Setup						Units							
System Type		RS-M9		Transducer Depth (m)		0.06				Distance		m					
Serial Number		4414		Salinity (ppt)		0.0				Velocity		m/s					
Firmware Version		3.50		Magnetic Declination (deg)		9.7				Area		m ²					
Software Version		3.7								Discharge		m ³ /s					
										Temperature		degC					
Discharge Calculation Settings										Discharge Results							
Track Reference		Bottom-Track		Left Method		Sloped Bank				Width (m)		19.051					
Depth Reference		Vertical Beam		Right Method		Sloped Bank				Area (m ²)		10.646					
Coordinate System		ENU		Top Fit Type		Power Fit				Mean Speed (m/s)		0.255					
				Bottom Fit Type		Power Fit				Total Q (m ³ /s)		2.711					
										Maximum Measured		0.873					
										Depth							
										Maximum Measured		0.956					
										Speed							
Measurement Results																	
Tr	Time			Temp.	Distance			Mean Vel		Discharge						%	
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured
21	7:08:43 PM	0:03:48	11.1	53.38	16.55	19.051	10.646	0.234	0.255	0.00	0.05	0.60	1.73	0.34	2.711	--	63.8
		Mean	11.1	53.38	16.55	19.051	10.646	0.234	0.255	0.00	0.05	0.60	1.73	0.34	2.711	0.000	63.8
		Std Dev	0.0	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.0
		COV	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Exposure Time: 0:03:48																	
Tr2= 20140827190713.riv;																	
Comments																	
Tr2=20140827190713.riv - ;																	
Compass Calibration																	
Passed Calibration																	
Calibration duration = 71 seconds																	
M6.00 = Magnetic influence is acceptable																	
Q9 = Magnetic field is uniform																	
H9 = Complete horizontal rotation																	
V6 = High pitch/roll																	
Recommendation(s):																	
Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration.																	
Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																	
System Test																	
System Test: PASS																	
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																	
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7																	

LIITE 7: Mittausraportti v31 Lintula

Discharge Measurement Summary										Date Measured : Thursday, September 18, 2014								
Site Information					Measurement Information													
System Information				System Setup						Units								
System Type	RS-M9	Transducer Depth (m)	0.06	Distance	m													
Serial Number	4414	Salinity (ppt)	0.0	Velocity	m/s													
Firmware Version	3.50	Magnetic Declination (deg)	10.8	Area	m ²													
Software Version	3.7			Discharge	m ³ /s													
				Temperature	degC													
Discharge Calculation Settings										Discharge Results								
Track Reference	GPS-GGA	Left Method	Sloped Bank	Width (m)	17.570													
Depth Reference	Vertical Beam	Right Method	Sloped Bank	Area (m ²)	7.791													
Coordinate System	ENU	Top Fit Type	Power Fit	Mean Speed (m/s)	0.225													
		Bottom Fit Type	Power Fit	Total Q (m ³ /s)	1.744													
				Maximum Measured Depth	0.754													
				Maximum Measured Speed	0.975													
Measurement Results																		
Tr	Time			Distance				Mean Vel		Discharge						%		
#	Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured	
1	R 6:33:18 PM	0:05:28	5.6	16.85	13.44	17.938	8.434	0.051	0.204	0.00	0.00	0.40	1.11	0.21	1.724	--	64.3	
2	L 6:39:17 PM	0:04:22	5.6	15.64	12.66	17.162	7.417	0.060	0.231	0.00	0.00	0.45	1.02	0.24	1.714	--	59.7	
3	R 6:44:11 PM	0:05:17	5.5	16.33	12.61	17.609	7.522	0.052	0.238	0.00	0.00	0.46	1.08	0.26	1.792	--	60.0	
			Mean	5.6	16.28	12.90	17.570	7.791	0.054	0.225	0.00	0.00	0.44	1.07	0.24	1.744	0.000	61.3
			Std Dev	0.0	0.50	0.38	0.318	0.457	0.004	0.015	0.00	0.00	0.03	0.04	0.02	0.035	0.000	2.1
			COV	0.0	0.030	0.029	0.018	0.059	0.072	0.065	0.000	0.000	0.058	0.033	0.077	0.020	0.000	0.035
Exposure Time: 0:15:07																		
Tr1= 20140918183316.rv; Tr2= 20140918183915.rv; Tr3= 20140918184409.rv;																		
Comments																		
Compass Calibration																		
Passed Calibration																		
CAUTION																		
Calibration duration = 71 seconds																		
M43.00 = Magnetic influence is acceptable																		
Q9 = Magnetic field is uniform																		
H9 = Complete horizontal rotation																		
V8 = High pitch/roll																		
Recommendation(s):																		
Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration.																		
Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																		
System Test																		
System Test: PASS																		
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.										Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7								

LIITE 8: Mittausraportti kuivatusveden ojasta ennen PVK1-kenttää elokuussa

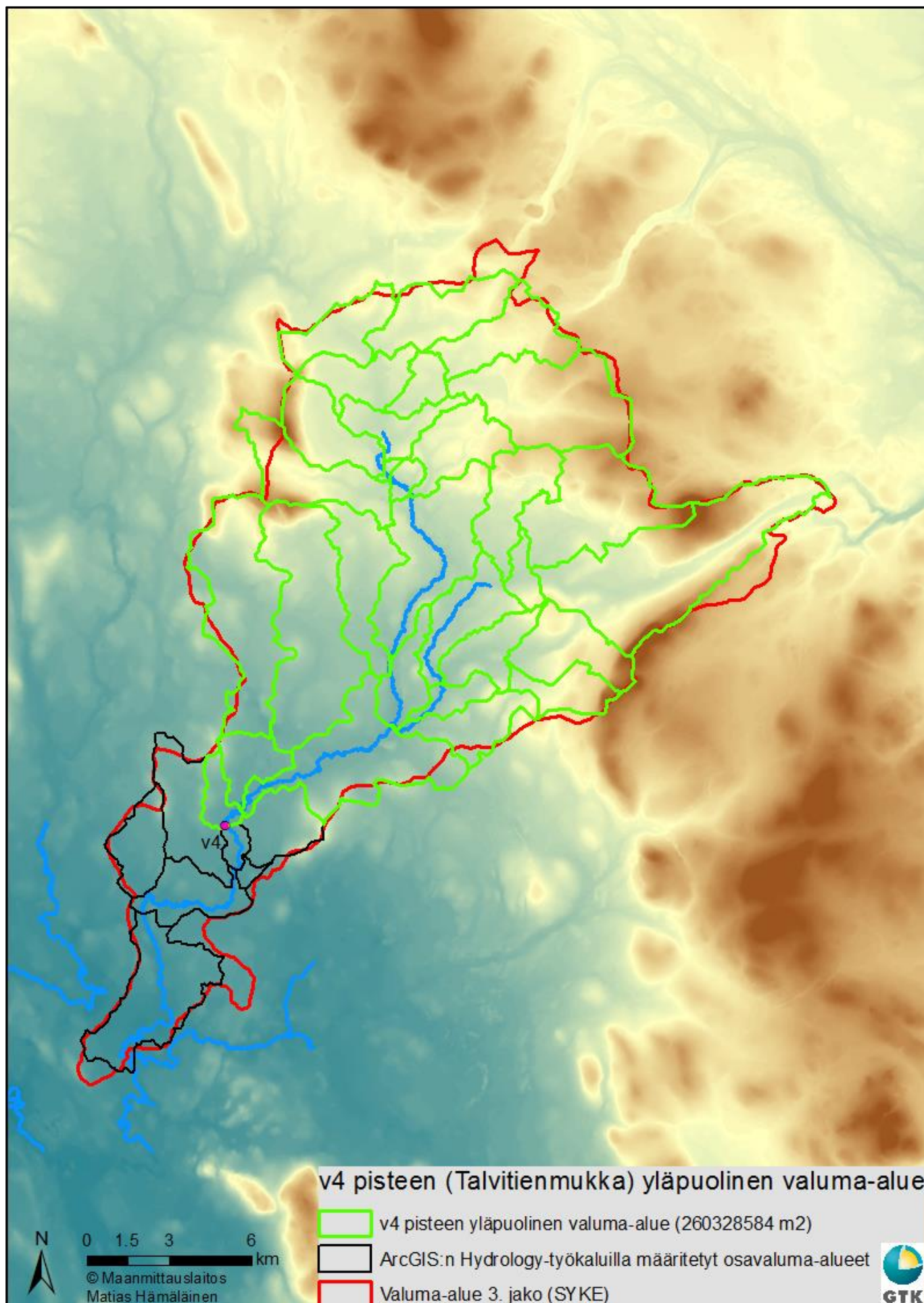
Discharge Measurement Summary										Date Measured: Wednesday, August 27, 2014											
Site Information					Measurement Information																
Site Name kittilän kaivos					Party gwm cf				Boat/Motor tb9												
Station Number					Meas. Number																
Location löytöjänkä2 vanha																					
System Information				System Setup						Units											
System Type RS-M9		Serial Number 4414		Transducer Depth (m) 0.06		Salinity (ppt) 0.0		Magnetic Declination (deg) 9.7		Distance m		Velocity m/s		Area m2		Discharge m3/s		Temperature degC			
Firmware Version 3.50		Software Version 3.7																			
Discharge Calculation Settings										Discharge Results											
Track Reference Bottom-Track		Depth Reference Vertical Beam		Coordinate System ENU		Left Method Sloped Bank		Right Method Sloped Bank		Top Fit Type Power Fit		Bottom Fit Type Power Fit		Width (m) 4.389		Area (m2) 2.490		Mean Speed (m/s) 0.032		Total Q (m3/s) 0.079	
														Maximum Measured Depth 0.950		Maximum Measured Speed 0.716					
Measurement Results																					
Tr	#	Time	Duration	Temp.	Distance			Mean Vel		Discharge						%					
		Time	Duration	Temp.	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	MBTotal	Measured			
1	R	8:05:50 PM	0:02:43	12.5	4.62	3.85	4.847	2.149	0.028	0.036	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.078	--	58.6			
3	R	8:10:44 PM	0:02:02	12.5	4.10	3.20	4.202	2.502	0.034	0.032	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.081	--	64.1			
4	L	8:13:12 PM	0:01:52	12.5	3.94	3.18	4.183	2.552	0.035	0.030	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.076	--	65.2			
5	R	8:15:12 PM	0:01:49	12.4	3.99	3.37	4.371	2.650	0.037	0.032	0.00	0.00	0.02	0.05	0.01	0.086	--	63.2			
6	L	8:17:15 PM	0:01:58	12.4	4.42	3.34	4.345	2.596	0.037	0.028	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.073	--	64.4			
				Mean	12.4	4.21	3.39	4.389	2.490	0.034	0.032	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.079	0.000	63.1		
				Std Dev	0.0	0.26	0.24	0.240	0.177	0.003	0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.000	2.3		
				COV	0.0	0.062	0.071	0.055	0.071	0.094	0.085	5.669	1.014	0.080	0.062	0.069	0.054	0.000	0.037		
Exposure Time: 0:10:24																					
Tr1=20140827200420.riv; Tr3=20140827200914.riv; Tr4=20140827201142.riv; Tr5=20140827201342.riv; Tr6=20140827201549.riv;																					
Comments																					
Tr1=20140827200420.riv - mittakaivon yläpuolella; Tr3=20140827200914.riv - mittakaivon yläpuolella; Tr4=20140827201142.riv - mittakaivon yläpuolella; Tr5=20140827201342.riv - mittakaivon yläpuolella; Tr6=20140827201549.riv - mittakaivon yläpuolella;																					
Compass Calibration																					
Passed Calibration Calibration duration = 71 seconds M6.00 = Magnetic influence is acceptable Q9 = Magnetic field is uniform H9 = Complete horizontal rotation V6 = High pitch/roll Recommendation(s): Avoid any changes to the instrument setup or its orientation to the magnetic influences detected during the compass calibration. Measurements should be made in locations with similar magnetic influences as the location of the compass calibration.																					
System Test																					
System Test: PASS																					
Parameters and settings marked with a * are not constant for all files.																					
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v3.7																					

LIITE 9: Mittausraportit prosessiveden purulta Rimmin asemalta

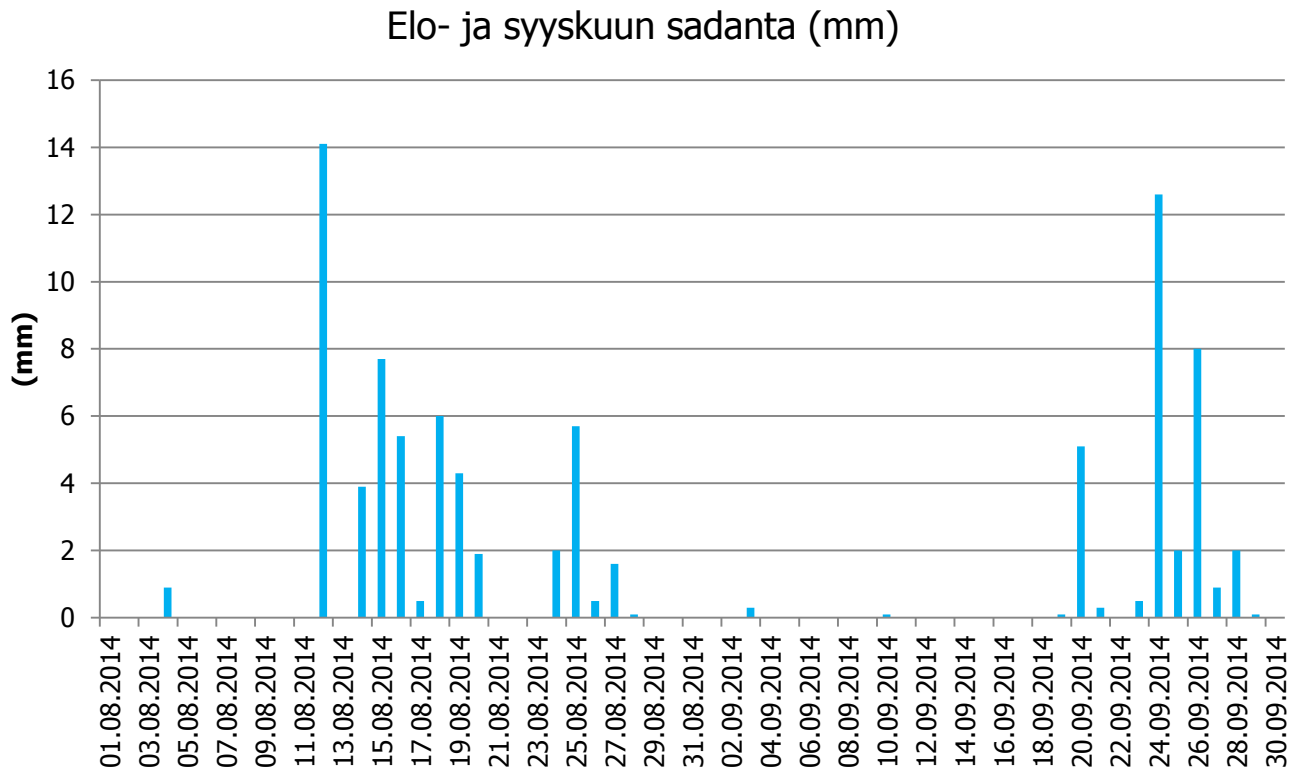
Discharge Measurement Summary													Date Generated: Sat Oct 4 2014		
File Information						Site Details									
File Name		AEFRIM.003.WAD				Site Name		RIMMI							
Start Date and Time		2014/08/27 21:03:44				Operator(s)		CF							
System Information						Units (Metric Units)			Discharge Uncertainty						
Sensor Type		FlowTracker				Distance		m		Category		ISO	Stats		
Serial #		P4089				Velocity		m/s		Accuracy		1.0%	1.0%		
CPU Firmware Version		3.9				Area		m ²		Depth		1.5%	0.0%		
Software Ver		2.30				Discharge		m ³ /s		Velocity		0.4%	0.0%		
Mounting Correction		0.0%								Width		0.5%	0.5%		
										Method		7.5%	-		
										# Stations		32.0%	-		
										Overall		32.9%	1.0%		
Summary															
Averaging Int.		40		# Stations		3									
Start Edge		LEW		Total Width		0.340									
Mean SNR		27.5 dB		Total Area		0.016									
Mean Temp		12.74 °C		Mean Depth		0.048									
Disch. Equation		Mid-Section		Mean Velocity		0.6560									
				Total Discharge		0.0106									
Measurement Results															
St	Clock	Loc	Method	Depth	%Dep	MeasD	Vel	CorrFact	MeanV	Area	Flow	%Q			
0	21:03	0.00	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0			
1	21:03	0.17	0.6	0.095	0.6	0.038	0.6560	1.00	0.6560	0.016	0.0106	100.0			
2	21:03	0.34	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0			
Rows in italics indicate a QC warning. See the Quality Control page of this report for more information.															

Discharge Measurement Summary													Date Generated: Sat Oct 4 2014		
File Information						Site Details									
File Name		AEFRIM.001.WAD				Site Name		RIMMI							
Start Date and Time		2014/08/27 20:44:39				Operator(s)		CF							
System Information						Units (Metric Units)			Discharge Uncertainty						
Sensor Type		FlowTracker				Distance		m		Category		ISO	Stats		
Serial #		P4089				Velocity		m/s		Accuracy		1.0%	1.0%		
CPU Firmware Version		3.9				Area		m ²		Depth		1.5%	0.0%		
Software Ver		2.30				Discharge		m ³ /s		Velocity		0.5%	0.0%		
Mounting Correction		0.0%								Width		0.5%	0.5%		
										Method		7.5%	-		
										# Stations		32.0%	-		
										Overall		32.9%	1.0%		
Summary															
Averaging Int.		40		# Stations		3									
Start Edge		LEW		Total Width		0.340									
Mean SNR		31.8 dB		Total Area		0.016									
Mean Temp		12.80 °C		Mean Depth		0.048									
Disch. Equation		Mid-Section		Mean Velocity		0.6664									
				Total Discharge		0.0108									
Measurement Results															
St	Clock	Loc	Method	Depth	%Dep	MeasD	Vel	CorrFact	MeanV	Area	Flow	%Q			
0	20:44	0.00	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0			
1	20:44	0.17	0.6	0.095	0.6	0.038	0.6664	1.00	0.6664	0.016	0.0108	100.0			
2	20:44	0.34	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0			
Rows in italics indicate a QC warning. See the Quality Control page of this report for more information.															

LIITE 10: Mittauspisteen v4 Talvitiemukka yläpuolinen valuma-alue

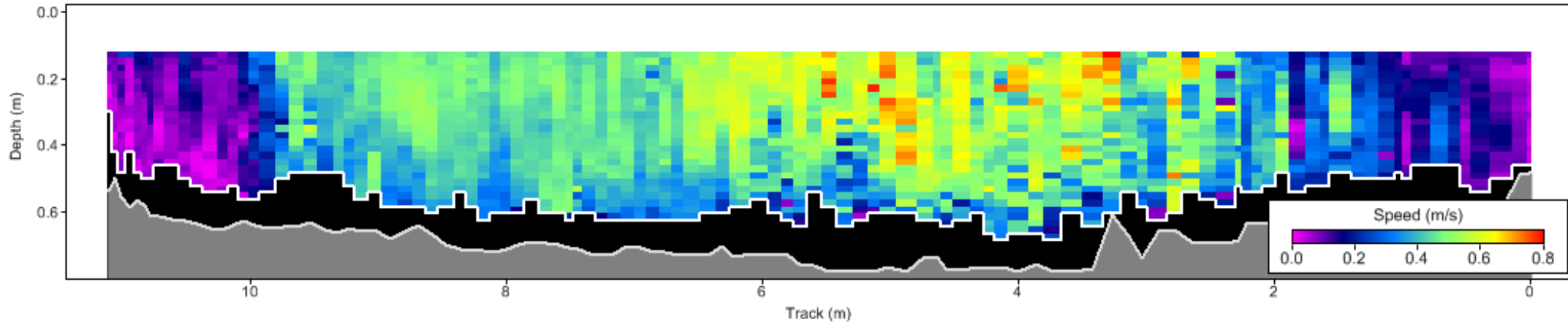


LIITE 11: Pokan sääaseman sadantatiedot, 30 km linnuntietä tutkimusalueelle. (FMI 2015.)



LIITE 12: Virtausprofiilit mittauspisteiltä v7 ja v15 elokuussa

Prosessiveden purulta v7



Kuivatusveden purulta v15

