



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VIEMÄRIVERKOSTON VUOTOVESIMÄÄRIEN SELVITYS HYÖDYNTÄEN PUMPPAAMOTIETOJA

Laukaan kunta

TEKIJÄ: Janne Väyrynen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Janne Väyrynen			
Työn nimi Viemäriverkoston vuotovesimäärien selvitys hyödyntäen pumppaamotietoja			
Päiväys	30.6.2015	Sivumäärä/Liitteet	84/1
Ohjaajat Lehtori Teemu Räsänen, yliopettaja Pasi Pajula			
Toimeksiantaja Suunnittelupäällikkö Antti Smolander (FCG Oy), Laukaan kunta			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren ja Leppäveden taajama-alueilta muodostuvia vuotovesiä. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää viemäriverkoston vuotavat alueet hyödyntämällä pumppaamoiden automaatiojärjestelmän tallentamia virtaama- ja käyntiaikatietoja vuosilta 2012, 2013 ja 2014. Vuotovesiselvitys tehtiin, koska tieto vuotavista verkostoalueista oli osittain hävinnyt työntekijöiden vaihdosten ja eläköitymisten seurauksena. Viemäriverkostoon päätyi ajoittain myös runsaasti vuotovesiä, jotka näkyivät alueen virtaamisissa erityisesti lumen sulamisen ja rankkasateiden aikaan. Esimerkiksi vuoden 2013 keväällä tarkastelualueen pääpumppaamon siirtämät vesimäärät kaksinkertaistuivat normaalista lumen sulamisen seurauksena. Viemäriverkoston vuotovesiä vähentämällä Laukaan kunta säästää jätevedenpumppaamoiden sekä Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenkäsittelylaitoksen käyttökustannuksissa.</p> <p>Työ aloitettiin tekemällä verkostokarttojen pohjalta FCGswmm-viemäriverkostomalli, johon yhdistettiin veden laskutusjärjestelmän tiedot vuodelta 2014. Verkostomallin avulla saatiin tieto alueittaisesta keskimääräisestä vedenkäytöstä sekä verkostopituuksista. Työtä varten valittiin yhteensä 17 pumppaamo, joiden virtaama- tai käyntiaikatietoja verrattiin Ilmatieteen laitoksella vuosina 2013–2014 tehtyihin säähavaintoihin. Vuotovesi laskettiin pumppaamon lähtövirtaaman ja laskutustiedoista saadun keskimääräisen vuorokausikulutuksen erotuksena. Vain käyntiaikatiedot sisältävien pumppaamoiden virtaamat mallinnettiin käyntiajan ja pumpun arvioidun tuoton avulla. Pumppujen käyntiaikatietoja hyödynnettiin työssä myös sellaisenaan.</p> <p>Työn tuloksena saatiin runsaasti diagrammeja ja taulukoita, joista vuotavat viemäriverkostoalueet ilmenevät. Esimerkiksi lumen sulamisen vaikutus näkyi joidenkin pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatiedoissa korkeana piikinä. Vuotavien alueiden luokittelu vuoden vakavuuden perusteella osoittautui hankalaksi niiden pumppaamoiden osalta, joista oli saatavilla pelkät käyntiaikatiedot. Koska pumppaamoiden lähtötiedot olivat puutteellisia, esimerkiksi pumppaamon korkotietojen ja pumppujen osalta, arvioitiin pumppujen tuotto keskimääräisen vedenkulutuksen ja kuivan ajanjakson käyntiaikojen perusteella. Tämä aiheutti laskennallisen virtaaman tuloksiin epävarmuutta, joka voidaan tulevaisuudessa korjata, kun pumppaamoista on saatavilla tarkempaa tietoa. Laskennallisissa virtaamisissa virhettä aiheuttivat myös kahden pumpun yhtäaikaiset käynnit, joka työssä laskettiin kahden yksittäisen pumpun tuoton summana, mikä tarkoitti virtaaman lähes kaksinkertaistumista. Tästä syystä joidenkin pumppaamoiden laskennalliset virtaamat ylimitoittuivat hetkellisesti, korostaen vuotovesien vaikutusta esimerkiksi lumen sulamisaikaan. Opinnäytetyön tulosten perusteella vuotaville alueille kohdennetaan maastossa tehtäviä tutkimuksia, kuten virtaamamittauksia, tarkastuskaivojen kuntotutkimuksia, savukokeita ja TV-kuvauksia.</p>			
Avainsanat automaatitieto, FCGMahti, FCGswmm, jätevesi, käyntiaika, Laukaan kunta, pumppaamo, verkostomalli, viemärimalli, virtaama, vuotovesi			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Janne Väyrynen			
Title of Thesis Leakage Water Research of a Sanitary Sewer Network Using Flow and Running Time Data of Pumping Stations			
Date	30 June 2015	Pages/Appendices	84/1
Supervisors Mr Teemu Räsänen, Lecturer and Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer			
Client Organisation Mr Antti Smolander, Planning Manager (FCG Oy) and The Municipality of Laukaa			
<p>Abstract</p> <p>The topic of this Bachelor's Thesis was to clarify the amount of leakage water infiltrating to the waste water network in the areas of Laukaa village, Vihtavuori and Leppävesi, in the municipality of Laukaa. The analyzation of the flow and running time history data of pumping stations from the years 2012 to 2014 was the main method to determine leaky sewer network areas. There were two main reasons why the leakage water investigation was conducted. Firstly, the knowledge of the leaking waste water network areas in Laukaa has gone lost as elder employees have retired. Secondly, the flows in the studied area were greatly increased during and after snow melt and stormy periods. For example, the snow melt in spring 2013 doubled the amount of daily flow in the major pumping station compared to its normal flow values. Reducing the amount of leakage water, the municipality of Laukaa can reduce the operating costs accumulated from the municipality's pumping stations and waste water treatment plant in Nenäinniemi, Jyväskylä.</p> <p>The research was started by making an FCGswmm-Sewer Network Model using the sewer network maps of Laukaa. The annual water usage data from the year 2014 was added to the network model so that the average water consumption in different network areas could be determined. The sewer network model was also used to calculate the total length of upper network in pumping stations. For this thesis a total of 17 pumping stations were selected for further analysis. The flow or running time data of pumping stations was compared to weather data collected by the Finnish Meteorological Institute in the years 2013 and 2014. The leakage water was calculated by subtracting the average water consumption from the flow in pumping station. The pumping stations without flow data, the flow was estimated using running time data and an estimated flow of a single pumping unit. The running time data was also used as such, without further calculation.</p> <p>As a result of this Bachelor's Thesis a series of diagrams and tables was created, where the leaking and non-leaking network areas are defined. For example, snow melting had an effect on some pumping stations resulting high peak in flow/running time data. The categorization of leakages in pumping stations without flow data was problematic, because the elevations of pumping stations and the models of pumps were unknown. The flow calculation of a single pumping unit was based on the average water consumption and the average running time of a pump during a dry weather period. Errors in this calculation can later be fixed when correct information about the pumping stations is provided. Another problem concerning flow calculation were the time periods when the two pumps of a pumping station ran simultaneously. In this case, the total flow was calculated as a sum of two individual pump flows, to result in the amount of flow to double incorrectly. Thus some of the flows in pumping stations were momentarily overvalued emphasizing the amount of leakage water in periods with high flow rate. The results of this project will be used to direct further field studies to the most leaking sanitary sewer network areas.</p>			
<p>Keywords Automation data, FCGMahti, FCGswmm, flow, inflow, infiltration, leakage water, municipality of Laukaa, network model, pumping station, running time, sanitary sewer, sewer network model, waste water</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Finnish Consulting Group Oy:n toimeksiannosta vuoden 2015 helmikuun ja kesäkuun välisenä aikana Laukaan kunnalle. Haluan kiittää FCG Suunnittelu ja Tekniikka -yritystä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö tästä erittäin mielenkiintoisesta aiheesta. Erityisesti haluan kiittää FCG:n suunnittelupäällikkö Antti Smolanderia työni ohjaamisesta ja opastamisesta. Suuri kiitos Antille myös viihtyisän työpisteen järjestämisestä FCG:n Kuopion toimitiloihin.

Työn tilaajana toimi Laukaan kunta. Haluan kiittää Laukaan vesi- ja viemärlaitosta saumattomasta yhteistyöstä.

Savonia-ammattikorkeakoulusta kiitos laadukkaasta työn ohjaamisesta kuuluu Lehtori Teemu Räsä-selle ja yliopettaja Pasi Pajulalle, jotka olivat koko projektin ajan helposti tavoitettavissa, myös lounastauoilla.

Kuopiossa 29.6.2015

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VUOTOVESI JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTOSSA.....	8
2.1	Jätevesiviemärit ja niiden kehitys	8
2.2	Vuotovesi	9
2.3	Viemärointiä koskeva lainsäädäntö.....	11
2.4	Viemäriin vuotovesien tutkimusmenetelmät.....	11
3	PUMPPAAMOIDEN VIRTAAMA- JA KÄYNTIAIKATIEDOT VUOTOVESISELVITYKSESSÄ.....	14
3.1	Virtaamatiedot.....	14
3.2	Käyntiaikatiedot.....	16
3.3	Vuotovesilaskennan tunnusluvut	17
4	LAUKAAN VIEMÄRIVERKOSTON VUOTOVESISELVITYS	19
4.1	Tutkimuskohde	19
4.2	Finnish Consulting Group Oy.....	20
4.3	Vuotovesiselvityksen lähtötiedot ja niiden hyödyntäminen	20
4.3.1	Jätevedenpumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatiedot	21
4.3.2	Viemäriverkostokartat.....	23
4.3.3	Veden laskutustiedot	25
4.3.4	Säähavainnot.....	26
4.4	Vuotovesiselvitykseen valitut pumppaamot.....	29
5	TULOKSET PUMPPAAMOITTAIN.....	30
5.1	Koivukorpi	30
5.2	Leppävesi.....	32
5.3	Nammo	36
5.4	Vihtavuori.....	38
5.5	Kuhankoski.....	42
5.6	Ritolahti	45
5.7	Laaksopolku	50
5.8	Tyvelä.....	53
5.9	Rajämäki.....	54
5.10	Esso.....	57
5.11	Natri	60

5.12 Laukaan puu.....	64
5.13 Torämäki.....	65
5.14 Jokiniemi.....	68
5.15 Hyvärinen.....	71
5.16 Varjola	73
5.17 Pellosniemi	75
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	78
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	82
LIITE 1: PUMPPAAMOIDEN KÄYNTIAJAT KUIVAN SÄÄJAKSON (8.–14.9.2014) JA PAKKASJAKSON AIKAAN (5.–12.4.2013).....	85

1 JOHDANTO

Laukaan kunnassa on havahduttu vuotovesien aiheuttamiin haasteisiin jätevesiviemäriverkostossa. Lumen sulamisen ja rankkasateiden seurauksena päivittäiset viemäriveresimäärät Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren ja Leppäveden alueelta kaksinkertaistuvat normaalista. Ylimääräinen vesi jätevesiviemäriin pidentää jätevedenpumppaamoiden käyntiaikoja lisäten sähkönkulutusta. Laukaan vuotovedet ovat turha rasite Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenkäsittelylaitokselle sekä loppujen lopuksi myös kasvanut kuluerä Laukaan kunnalle.

Tieto Laukaan kunnan vuotavista verkostoalueista on osittain hävinnyt työntekijöiden vaihdosten ja eläköitymisten seurauksena. Työn tavoitteena on paikallistaa vuotavat alueet pumppaamoittain Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren sekä Leppäveden taajamien alueilta.

Vuotovesimäärät selvitetään vesitaseen perusteella vähentämällä pumppaamon virtaamasta vastaavan pumppaamoalueen keskimääräisen vedenkäytön osuus. Tiedot alueittaisesta vedenkäytöstä ja verkostopituudesta saadaan selville viemäriverkostosta tehtävän FCGswmm-verkostomallin avulla. Pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatietoja verrataan myös säätilassa tapahtuviin muutoksiin.

Vuotovesiselvitys tehdään yhteistyössä Finnish Consulting Group Oy:n kanssa. Työtä varten yritys mahdollistaa FCGsmart-tiimin ohjelmistot käyttööni sekä pätevän ohjaajan avustamaan ohjelmien käytössä. Tässä opinnäytetyössä FCGsmart-ohjelmistot ovat avainasemassa mahdollistamassa data-lähteiden älykkään hyödyntämisen.

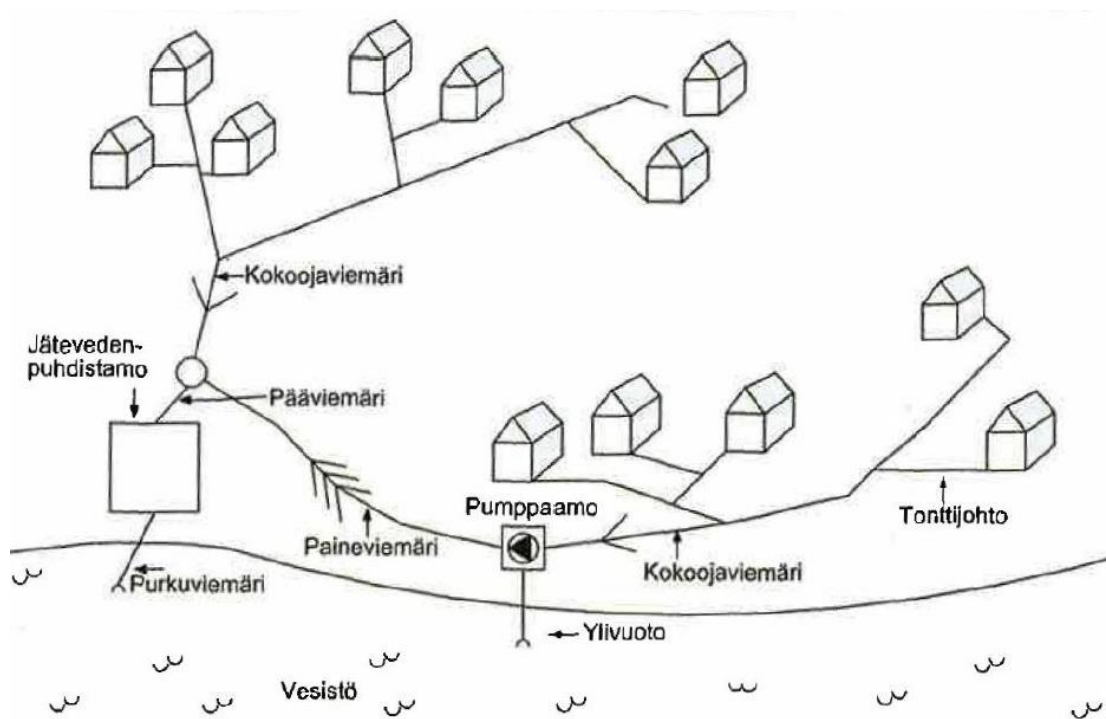
2 VUOTOVESI JÄTEVESIVIEMÄRIVERKOSTOSSA

2.1 Jätevesiviemärit ja niiden kehitys

Viemärlaitoksen tehtävänä on huolehtia jäteveden ja muiden haitallisten vesien keräämisestä, käsittelystä ja poisjohtamisesta (Vesihuolto I: RIL 124-1-2003, 16). Jätevedet johdetaan tonttijohtojen kautta kokoojaviemäriin, jotka yhdistetään jätevedenkäsittelylaitokselle johtavaan pääviemäriin (kuva 1). Viemärien suunnittelussa pyritään mahdollisuuksien mukaan käyttämään painovoimaan perustuvia viettoviemäreitä, jotta pumppaamoiden huoltotoimilta ja paineviemäreiden hajuhaitoilta vältyttäisiin. (Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: RIL 237-1-2010, 26 - 27.)

Viemärit luokitellaan erillisviemäreihin ja sekaviemäreihin viemäriin johdettavan veden perusteella. Erillisviemärijärjestelmässä asumisen ja teollisuuden jätevedet ohjataan jätevedenkäsittelylaitokselle ja sieltä vesistöön. Vähemmän käsiteltäviä tarvitsevat hulevedet pyritään imeyttämään maahan jo syntypaikallaan tai ne ohjataan omaa järjestelmää pitkin mahdollisen imeytyksen kautta vesistöön. Erillisviemäröinti on Suomessa nykyään yleisesti käytetty ratkaisu. Ensimmäiset erillisviemärit Helsinkiin rakennettiin vuonna 1938 (Juuti, Katko ja Rajala 2010, 52).

Sekaviemärit edustavat Suomessa vanhaa viemäröintitapaa. Sekaviemäreissä sade-, sulamis- ja kiviainevädet ohjataan jätevesien kanssa samaa järjestelmää pitkin jätevedenkäsittelylaitokselle. Sekaviemärien etuna voidaan pitää viemäriin hyvää huuhtoutumista, mutta järjestelmän kääntöpuolena virtaamavaihtelut ovat suurempia ja vedenkäsittelylaitokselle päätyy suuri määrä suhteellisen puhdasta vettä. Tulvatilanteessa sekaviemäristä tulvinut vesi on myös hygieniariski. Suomessa yleisenä trendinä on, että kaupunkialueille jääneitä vanhoja sekaviemäreitä pyritään saneeraamaan erillisviemäreiksi.



KUVA 1 Jätevesiverkon osat (Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: RIL 237-1-2010, 27)

Vielä 70-luvun alussa valtaosa viemäreistä oli rakennettu betonista (noin 90 %). Vuoteen 2006 mennessä betonin osuus viemäreistä on vähentynyt 24 %:iin, muoviputkien ollessa vallitseva viemärimateriaali (noin 71 %). (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 6.) Viemäroinnin laatuun ovat vaikuttaneet muun muassa menetelmien kehittyminen sekä uusien materiaalien käyttöönotto. 70-luvun jälkeen asennettujen viemärien laatua ovat parantaneet esimerkiksi betoninormien ja kumitiivisteiden käyttöönotto sekä vaatimukset painekokeiden tekemiseen myös viettoviemäreille. Muoviputket tulivat markkinoille 70-luvulla ja aluksi niiden asennuksessa ja käsittelyssä tehtiin virheitä. Liitoskohtien osalta puutteita on ollut vielä 80-luvulla asennetuissa muovikaivoissa ja -putkissa. Kaikkien materiaalien kohdalla ongelmana ovat olleet puutteet täytössä, joista on seurannut putkien painumia ja rikkoontumisia. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 14–15.)

Vuoden 2008 tietojen mukaan Suomen viemäreistä 40 % on alle 20 vuotta vanhoja ja 37 % yli 30 vuotta vanhoja (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 3–4). Suuri osa laitoksista käyttää saneerauskohteiden valinnan perusteena verkoston ikää. Asennusvuosi ei välttämättä kuitenkaan kuvaa putken todellista kuntoa. (Saastamoinen 2015, 50.) Vesihuoltolaitoksille tehdyn kyselytutkimuksen (60 laitosta) mukaan 12 % viemäreistä arvioidaan olevan huonossa tai erittäin huonossa kunnossa (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 15).

Keski-Suomen vesihuollon kehittämissuunnitelmassa vuosille 2009–2020 on asetettu tavoitteeksi vuotovesitutkimusten ja verkostojen saneerausten suunnitelmallinen tekeminen niin, että verkostot pysyvät hyvässä kunnossa. Vuotovesimäärien vähentämisen keinoina sekaviemäreitä saneerataan erillisviemäreiksi ja hulevesien johtaminen kiinteistöiltä jätevesiviemäriin pyritään lopettamaan. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010, 52.) Tämän opinnäytetyön katsotaan tukevan myös näitä tavoitteita.

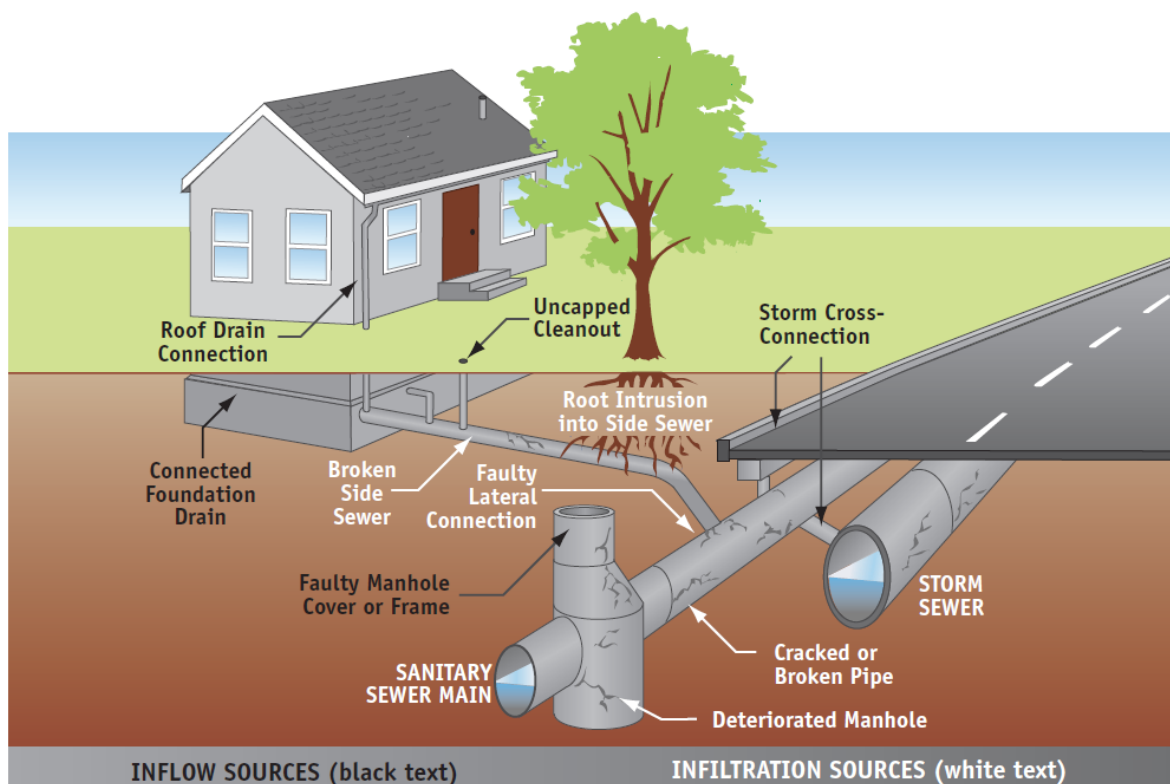
2.2 Vuotovesi

Jätevesiviemäriverkoston ideaalitalanne on ehdoton tiiviys. Verkon kunnossapidon ja saneerauksen tehtävänä on huolehtia, että viemäriverkkoon tulee pääsääntöisesti vain käytöstä poistettua vesijohdotettua ja minimaalisessa määrin vuotovesiä. (Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: RIL 237-1-2010, 86.) Viemäriverkoston vuotovedellä tarkoitetaan pinta- tai pohjavettä, joka pääsee putkissa ja kaivoissa olevien rakojen, halkeamien, liitosten ja viallisten kohtien kautta jätevesiviemäriin (Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: RIL 237-2-2010, 13). Vuodon suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat vuotokohtien (esimerkiksi halkeamien) koko, vuotoa ympäröivän maan vedenläpäisevyys, pinta- ja pohjaveden korkeudet, väärien liityntöjen määrä ja niistä johdettavien kuivatusalueiden laajuus sekä sääolot.

Vuotovesien reittejä jätevesiviemäriverkoston on havainnollistamassa kuva 2. Vesi- ja viemärlaitostyhdistyksen julkaisussa viemäreiden vuotovedet luokitellaan seuraaviin kahteen luokkaan:

- varsinainen vuotovesi
 - pohja- ja vajovesistä putkistoon imeytyvää vettä. Linja on pysyvästi tai tilapäisesti pohjavedenpinnan alla ja vesi pääsee putkistojen ja kaivojen aukkojen kautta järjestelmään
- hulevuotovesi
 - pintavaluntavedestä muodostuvaa vuotovettä, joka kulkeutuu järjestelmään kansiston ja kaivojen yläosien kautta, putkien saumoista ja ylivuodoista. (Forss 2005, 22.)

Englannin kielessä vuotovesistä käytetään nimitystä "Infiltration/Inflow" tai "I/I" (Kingcounty.gov). Infiltration vastaa määritelmiltään VVY:n luokituksen mukaista varsinaisen vuotoveden määritelmää. Varsinaisen vuotoveden (Infiltration) reitit jätevesiviemäriin on merkitty kuvaan 2 valkealla tekstillä ja niitä ovat aukot tarkastuskaivojen sekä kokooja- ja tonttviemärien seinämissä ja liitoksissa. Englannin kielen Inflow-sanan määritelmä vastaa pääosin hulevuotoveden määritelmää, mutta siihen sisältyvät pintavaluntavesistä muodostuvien vuotovesien lisäksi myös teiden ja perustusten kuivatusvedet, joista ei VVY:n hulevuotoveden määritelmässä ole suoranaista mainintaa. Hulevuotovesien (Inflow) reitit jätevesiviemäriin on merkitty kuvaan 2 mustalla tekstillä. Hulevuotovesien reittejä ovat aukot tarkastuskaivojen kansistossa sekä väärät liitynnät, joissa katto- ja kuivatusvesiä on johdettu jätevesiviemäriin.



KUVA 2 Hulevuotovesien (Inflow) ja varsinaisten vuotovesien (Infiltration) reitit jätevesiviemäriin (Kingcounty.gov)

Oli vuotovesi peräisin pohja- tai pintavalunnasta, aiheuttaa se haasteita koko viemärlaitoksen alueella. Ylimääräinen viemäriverkoston päätyvä vesi lisää pumppaamoiden ja jätevedenkäsittelylaitoksen käyttökustannuksia. Vuotovesien myötä viemäriveresi laimenee (ja keväisin myös viillenee), hidastaen jätevedenkäsittelyn prosesseja. Vuotovesistä erityisesti hulevuotovedet aiheuttavat viemäriverkoston nopeita virtaaman vaihteluita, vaikeuttaen jätevedenkäsittelylaitoksen prosessien hallintaa ja lisäten kapasiteettiongelmiin muodostumisriskiä koko viemäriverkoston alueella. Kapasiteetin ylitykset vaikuttavat niin ympäröivään luontoon, kuin rakennettuun ympäristöön. Esimerkiksi pumppaamon ylikuormitustilanteessa jätevesi padottuu viemäriin, nousten lopulta kadulle, kiinteistöihin tai luontoon. Määräva ja ohjaava rooli viemäriin turvaamisessa ja ympäristövaikutusten vähentämisessä on Suomen lainsäädännöllä.

2.3 Viemärintä koskeva lainsäädäntö

Viemärintä liittyviä lakeja ovat muun muassa vesihuoltolaki, vesilaki sekä ympäristönsuojelulaki. Vesihuoltolain (119/2001) tavoitteena on vesihuollon turvaaminen. Viemäriin osalta laki velvoittaa viemäriin asianmukaiseen järjestämiseen terveyden- ja ympäristönsuojelun kannalta. (Vesihuoltolaki 2011, 1 §.) Vesihuoltolain 15 § velvoittaa vesihuoltolaitoksen tarkkailemaan laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää laitoksen vesijohto- ja viemäriverkostoissa. Vesihuoltolain 15 § velvoittaa myös saattamaan tiedot verkostojen sijainnista sähköiseen muotoon. (Vesihuoltolaki 2014, 15 §.)

Vesilain (587/2011) tavoitteena on edistää, järjestää ja sovittaa yhteen vesivarojen ja vesiympäristön käyttöä niin, että se on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä. Lain tavoitteena on myös ehkäistä ja vähentää vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvia haittoja sekä parantaa vesivarojen ja vesiympäristön tilaa. (Vesilaki 2011, 1 §.)

Ympäristönsuojelulla (527/2014) on useita ympäristönsuojelullisia tavoitteita ja sitä sovelletaan teolliseen ja muuhun toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Lain tarkoituksena on muun muassa ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja. (Ympäristönsuojelulaki 2014, § 1.)

2.4 Viemäriin vuotovesien tutkimusmenetelmät

Viemäriin vuotovesiselvityksen tavoitteena on selvittää vuotojen määrä, sijainti ja syyt (Forss 2005, 22). Vuotovesiselvitys alkaa jätevedenkäsittelylaitoksen ja jätevedenpumppaamoiden virtaamien seurannalla. Tulosten perusteella halutuille alueille kohdennetaan maastossa tehtäviä tutkimuksia, kuten TV-kuvauksia, tarkastuskaivojen kuntoselvityksiä ja savukokeita. Tässä luvussa käsitellään ensin lyhyesti maastossa tehtäviä tutkimusmenetelmiä ja lopuksi keskitytään Laukaan vuotovesiselvityksessä käytettyyn virtaamaseurantaan.

TV-kuvauksella tarkoitetaan putkien sisäpuolista kuvaamista niiden rakenteellisen ja toiminnallisen kunnan selvittämiseksi. Vuotovesiselvityksessä TV-kuvauksella voidaan paikallistaa vuotavia kohtia ja viemäri liittymien sijainteja. TV-kuvauslaitteistoon on saatavilla myös lisälaitteita, esimerkiksi putken kaltevuuden mittaamiseen (Forss 2005, 24.) Ohjeet TV-kuvauksessa tehtyjen havaintojen kirjaus- ja raportointimenettelyyn on kuvattu Vesi- ja viemäri laitostyöyhdistyksen julkaisemassa ”Viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohjeessa” (Vesi- ja viemäri laitostyöyhdistys 2005, 5). Kuvassa 3 on esimerkki TV-kuvauksen näelmästä, jossa havaittu vuoto ilmenee veden runsaana virtauksena. Vuodon havaitavuuteen vaikuttavat ympäröivän maan vedenläpäisevyys, pohja- ja pintaveden korkeudet, vuotokohdan suuruus sekä sääolot.

Tarkastuskaivojen kuntoselvityksessä tehdään havaintoja viemärikaivojen rakenteellisista ja toiminnallisista vioista sekä viemärikaivojen vuodoista (kuva 4). Tarkastuskaivot tutkitaan silmämääräisesti ja järjestelmällisesti kaivo kaivolta ja havainnot kirjataan kaivokortteihin. Osana vuotovesiselvitystä tarkastuskaivoissa huomiota kiinnitetään erityisesti kansistorakenteiden ja kaivon renkaiden vedenpitävyyteen. Tarkastuskaivoista on hyvä tarkistaa myös viemäri liittösten määrä ja suunnat, joiden pitäisi vastata verkostokartan tietoja. Ohjeet havaintojen kirjaamiseen ja raportointiin on kuvattu Vesilaitostyöyhdistyksen julkaisussa ”Viemärikaivojen kuntotutkimusohje” (Vesilaitostyöyhdistys 2013, 1–2). Tarkastuskaivojen kuntoselvitystä voidaan täydentää myös savukokein.



KUVA 3 Esimerkki TV-kuvauksella havaitusta viemäri liittymästä ja vuodosta (Vesi- ja viemäri laitostyöyhdistys 2005, 21–43)



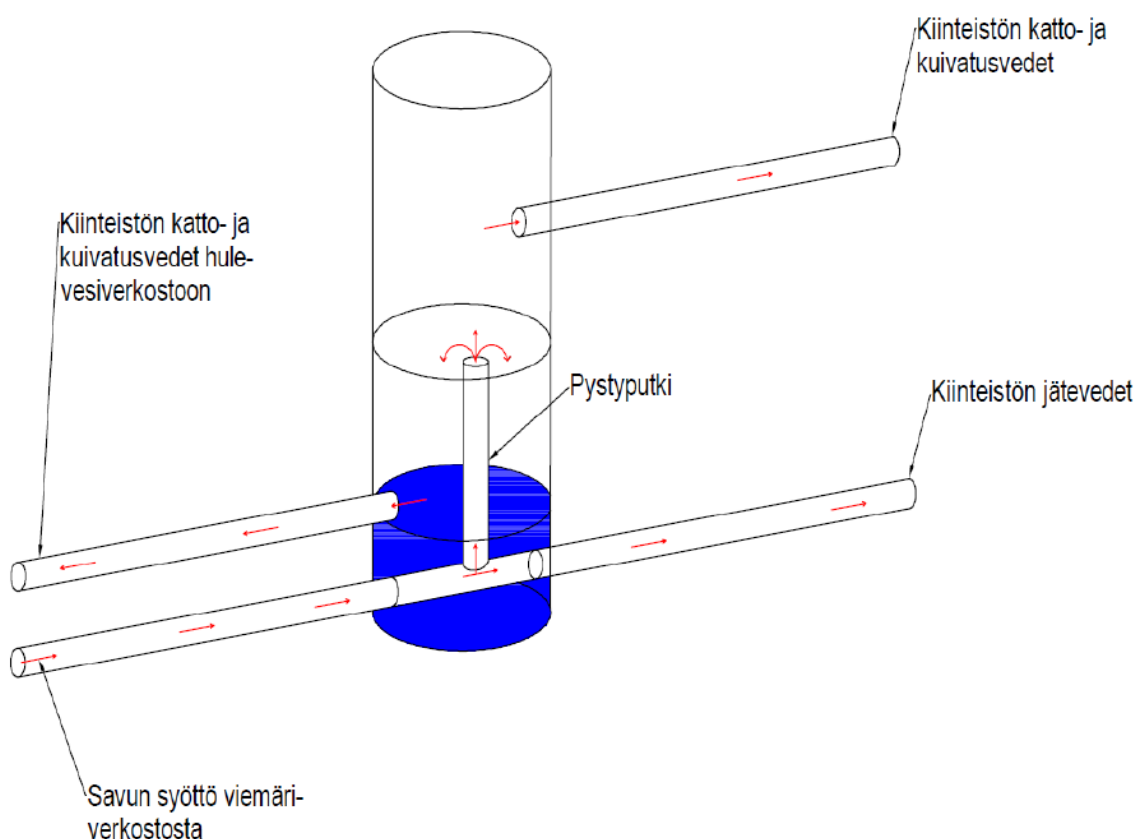
KUVA 4 Esimerkkejä vuotovesien reiteistä viemärikaivoon:

1. Tontin salaojat; 2. Vuodot kaivon renkaiden välistä; 3. Vuodot kaivokoukun reiästä.

Savukoemenetelmässä savua puhalletaan viemärikaivon kautta viemäriputkeen. Vuotovesiselvityksessä savukoe paljastaa osan virheellisistä liitoksista, joissa hulevesiä on ohjattu jätevesiviemäriin rakennusten salaojien tai rännikaivojen kautta. Joissain tapauksissa savukoe voi myös paljastaa putkien halkeamia ja rakoja, jos putki kulkee lähellä maanpintaa, lyhtypylväitä tai muita rakenteita. (Forss 2005, 25–26.) Esimerkki savukokeella havaittavasta tuloksesta on nähtävissä kuvassa 5, jossa savukokeen avulla on osoitettu yhteys rännikaivon ja jätevesiviemäriin välillä. Kyseessä ei kuitenkaan ole virheellinen liitäntä, jos hulevesien pääsy jätevesiverkostoon on estetty riittävän korkean pystyputken avulla, kuten kuvassa 6 nähtävässä tarkastuskaivossa. Joissain tapauksissa myös virheellinen kytkentä voi myös jäädä paljastumatta, jos savu ei pääse kulkeutumaan kiinteistön katto- ja kuivatusjärjestelmään esimerkiksi tonttikaivoon asennetun vesilukon vuoksi (Häkkinen 2013, 34).



KUVA 5 Jätevesiviemäriin puhallettu savu osoittaa yhteyden rännikaivon



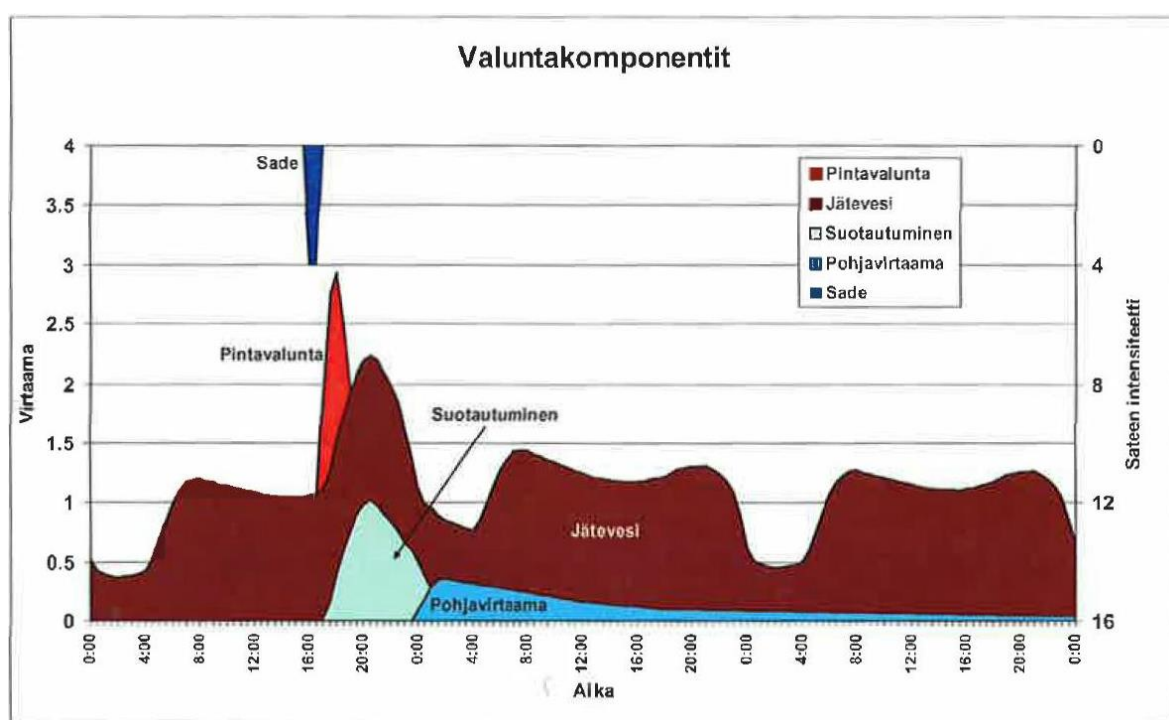
KUVA 6 Punaiset nuolet kuvastavat savun kulkua tonttiliittymään yhdistetyssä tarkastuskaivossa (Häkkinen 2013, 34)

3 PUMPPAAMOIDEN VIRTAAMA- JA KÄYNTIAIKATIEDOT VUOTOVESISELVITYKSESSÄ

3.1 Virtaamatiedot

Vuotovesien selvitystyö etenee aina kokonaisuudesta yksityiskohtiin. Aluksi koko viemäriverkon jätevesimääriä verrataan alueen vastaaviin vedenkulutuksiin. Tämän jälkeen tarkastellaan päähaarojen vesimääriä pumppaamoittain. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 652.) Laajat verkostoalueet, joita pumppaamot eivät ole jakamassa, voidaan jakaa pienempiin osa-alueisiin siirrettävien virtaamamittareiden avulla (Forss 2005, 22). Virtaamatuloksissa kiinnitetään huomiota säätilanvaihteluiden, kuten lumen sulamisen ja rankkasateen vaikutusta virtaamiin.

Kuviossa 1 on esitetty viemäriverkoston virtaama ennen ja jälkeen sadetapahtuman. Sadetapahtuman jälkeen virtaama jätevesiverkostossa kasvaa nopeasti, mikä johtunee hulevuotovesien nopeasta pääsystä jätevesiviemäriin. Sateen pitkäkestoinen vaikutus näkyy virtaamissa usean päivän ajan pohjavirtaamana, varsinaisen vuotoveden suotautuessa viemäristöön. Hulevuotovesien (Inflow) määrän voidaan katsoa olevan suoraan verrannollinen sataneen veden tai sulaneen lumen määrään. Hulevuotovesien muodostuminen korostuu runsaslumisen talven jälkeen, lumen sulaessa nopean lämpötilanmuutoksen seurauksena. Sen sijaan vuodot viemäriputkien ja liitosten kautta (Infiltration) voivat näkyä viiveellä, jos maaperän routa estää hulevesien suotautumista maahan ja viemäriin. Jos verkostoalueella ei ole pintavalunnasta johtuvaa vuotoa, voi matalamman lumipeitteen sulaminen roudattomassa maassa näkyä virtaamassa suurempana piikkinä, kuin korkean lumipeitteen sulaminen routaisessa maassa. Virtaama-analyseissä on otettava huomioon, että suurentunut virtaama ei ole seurausta suurentuneesta vedenkäytöstä, esimerkiksi teollisuusalueelta. Virtaamamittausten lisäksi viemärivereden lämpötilamittaukset voivat osoittautua hyödyllisiksi, sillä lumen sulamisesta aiheutuva vuotovesi viilentää viemärivereden lämpötilaa.



KUVIO 1 Esimerkki jätevesiviemäriin valuntakomponenteista (Forss 2005, 23)

Viemäriverkoston vuotovedit ovat minimissään kuivan kauden aikaan, esimerkiksi pitkään jatkuneen hellejakson jälkeen tai kovien pakkasten aikaan. Viemäri voi vuotaa tällöin myös ulospäin ja siten virtaamat voivat olla pysyvästi vedenkulutusta pienempiä (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 662). Viemäriin ollessa pysyvästi pinta- tai pohjaveden alapuolella, voi viemäriin kertyä vuotovettä tasaisesti säätilasta riippumatta. Tasaisen vuodon määrää voidaan arvioida kuivana kauden yöaikaan mitatuista pumppaamoiden virtaamista. Mikäli pumppujen toistuvaa yöaikaista käyntiä ei ole selitettävissä vedenkulutuksella, ja viemäriin kulkee pinta- tai pohjaveden alapuolella, on yöaikainen virtaama todennäköisesti varsinaista vuotovettä (Infiltration).

Osana virtausmittauksia voidaan hyödyntää myös verkostomallinnusta, jonka avulla saadaan tietoa valuma-alueiden välisistä eroista. Viemärimalli kalibroidaan todellisilla virtausmittaustuloksilla ja siten saadaan selville valuma-alueelta tulevan virtaaman suuruus sekä virtaaman kausittainen vaihtelu sadetapahtumien aikana ja niiden jälkeen. Mallinnusohjelman avulla voidaan esimerkiksi selvittää aluekohtaiset vuotovesiprosentit, vuodon syntyperä sekä paikallistaa tulvimisherkeit viemäriosuudet (kapasiteettitarkastelu). Mallinnusohjelman avulla voidaan myös tarkistaa viemäriin putkikoko, joka vaikuttaa valittavaan saneerausmenetelmään. (Forss 2005, 22–23.) Vuotovesiselvityksen jälkeen valmis viemärimalli toimii myös työkaluna uusien viemäriin ja -kaivojen suunnittelussa.

Esimerkki viemärimallinnusohjelmasta on EPA Storm Water Management Model (SWMM), joka on Yhdysvaltain ympäristöhallinnon EPA:n kehittämä avoimen lähdekoodin mallinnusohjelma lyhyt- ja pitkäkestoisten rankkasateiden aiheuttaman valunnan simuloimiseen kaupunkialueilla. Rankkasateiden mallintamisen lisäksi SWMM –ohjelmaa on laajasti käytetty maailmalla myös sekaviemäreiden, jätevesiviemäreiden ja muiden kaupunkiviemäreiden suunnitteluun sekä valmiiden verkostojen analysointiin. Työskentelyalustana SWMM mahdollistaa hydrologisten, hydraulisten sekä veden laatuun liittyvien simulointien tekemisen. (EPA 2010, 1.) Tässä työssä tutkimusalueen viemäriverkosto mallinnettiin EPA SWMM:ään pohjautuvan FCGswmm -ohjelman avulla.

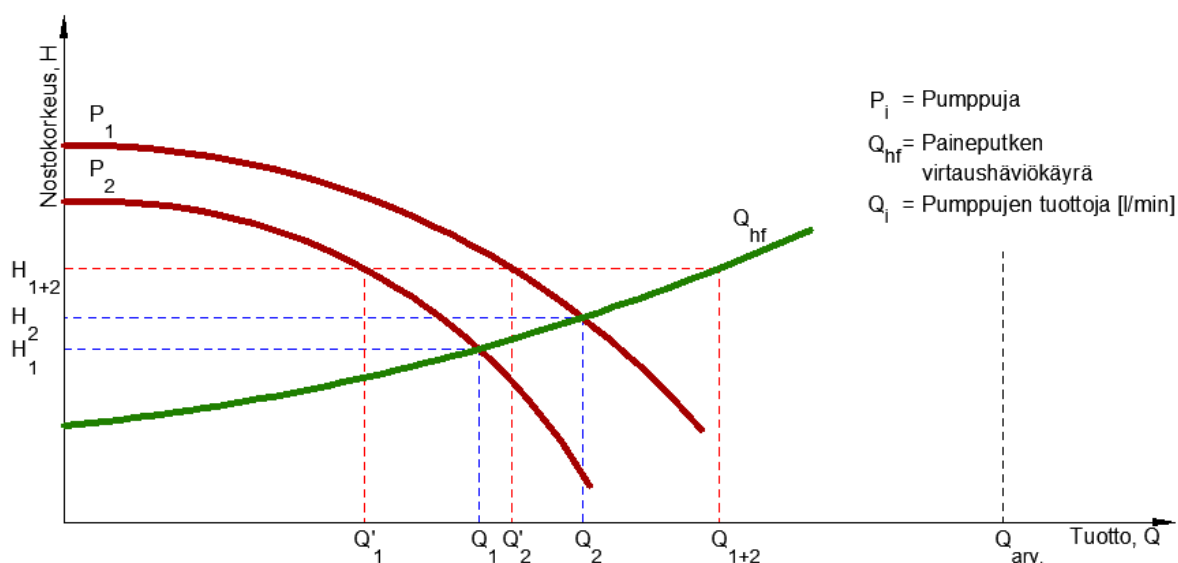
FCG:llä EPAswmm-ohjelmaa on kehitetty eteenpäin muun muassa moniprosessorituella, automaatiomallinnuksella sekä geogoodattujen vedenkäyttötietojen tuella. Ohjelmistokehityksen tuloksena syntyi FCGswmm, jonka hydrologisen ja hydraulisen simulaattorin toiminta perustuu EPA SWMM -mallin viimeisimpään versioon 5.1.007. (Sunela 2015, 1.) FCGswmm:n laskentaominaisuudet vastaavat EPA SWMM:ää, mutta verrattuna alkuperäiseen ohjelmaan FCGswmm:n etuja ovat sen helppokäyttöisyys ja lisäominaisuudet. Tässä työssä Laukaan viemäriverkostosta tehtiin yksinkertainen verkostomalli FCGswmm-ohjelman avulla. Verkostomallia ei kuitenkaan käytetty hydrologisten tai hydraulisten simulointien tekemiseen. Verkostomallin avulla sen sijaan määritettiin pumppaamon yläpuolisen verkoston pituus sekä pumppaamon valuma-alueiden ja pumppaamon välisten osa-alueiden vedenkulutus.

3.2 Käyntiaikatiedot

Joskus pumpusta ei ole saatavilla virtaamatietoja, vaan pelkät pumpujen käyntiaikatiedot. Käyntiaikatietoja vertaillaan virtaamatietojen tapaan säätilan muutoksiin. Vaikka vuotovesien vaikutus näkyy käyntiaikatiedoissa, ei niiden pohjalta voi suoraan päätellä vuotovesien absoluuttista määrää, koska pumpattavan viemäriverimäärän lisäksi käyntiaikojen pituuteen vaikuttavat myös pumpujen tuotot. Pienen tuoton omaava pumpu käyttää enemmän aikaa saman vesimäärän pumpaamiseen kuin pumpu, jonka tuotto on suurempi. Tästä syystä pelkkä pumpun käyntiaikojen tarkastelu antaa vain "kyllä/ei" -vastauksen pumpun alueen vuotovesien muodostumiselle. Esimerkiksi vuotovesistä johtuva käyntiaikojen kasvu kahdessa peräkkäisessä pumpusta paljastaa, että vuotoa on ainakin ylemmän pumpun valuma-alueella, mutta ei välttämättä pumpun välisellä osa-alueella.

Käyntiaikatietojen pohjalta voidaan arvioida pumpusta lähtevän virtaaman suuruus, jos pumpun toimintapiste, eli kokonaisnostokorkeutta vastaava tuotto on tiedossa. Esimerkiksi kuvan 7 pumpun P_1 ja P_2 tuottoja Q_1 ja Q_2 vastaavat nostokorkeudet ovat Q_{hf} -paineputkella H_1 ja H_2 . Tuoton Q suurentuessa myös virtaushäviöiden, ja siten myös nostokorkeuden arvo H kasvaa. Tässä työssä pumpun virtaama aikajaksolla arvioitiin laskennallisesti pumpun käyntiaikoiden ja pumpun tuoton tulona kaavan 1 mukaisesti. Laskennallisen virtaaman myötä pumpun välisen alueen vuotavuuden arviointi onnistuu. Pumpuissa on yleensä kaksi tai useampi pumpu, jotka pumpaavat vuorotellen vaihdellen pumpausvuoroa. Pumpun käynnistymisiä ja pysähtymisiä ohjaavat imultaan pinnankorkeus, tarkemmin sanottuna pumpun pysäytys- ja käynnistysrajat.

$$\text{Laskennallinen virtaama } \left[\frac{m^3}{h}\right] = \text{Pumpun käyntiaika } \left[\frac{h}{h}\right] * \text{Pumpun tuotto } \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad (1)$$



KUVA 7 Kahden pumpun rinnakkaiskäytön vaikutus pumppujen tuottoihin

Pumput voivat toimia myös yhtä aikaa, jos vedenkorkeus imualtaassa on ylittänyt ylemmän käynnistysrajan, esimerkiksi vuotovesien vaikutuksesta. Kahden tai useamman pumpun yhtäaikainen käynti vaikeuttaa virtaaman laskentaa, koska pumppujen yhtäaikaisen käynnin virtaama Q_{1+2} täytyisi laskea erikseen kaikille niille aikajaksoille, joissa yhtäaikaista käyntiä on tapahtunut. Tässä työssä laskennallinen virtaama kahdelle pumpulle laskettiin aina kahden yksittäisen pumpun tuoton summana (kuvassa 7 $Q_{arv.}$), eikä pumppujen rinnakkaista käyntiä huomioitu erikseen laskennassa. Tästä syystä laskennalliset virtaamat lähes kaksinkertaistuivat hetkellisesti pumppujen ollessa käynnissä yhtä aikaa.

Ritolahden pumppaamo lukuun ottamatta kaikki vuotovesiselvityksen pumppaamot, joista oli saatavilla vain käyntiaikatiedot, ei ollut tiedossa pumppujen malli- ja tyyppitietoja tai pumppaamon pohjan korkotietoja pumpun tuoton ratkaisemiseen. Näissä tilanteissa pumpun tuotto arvioitiin karkeasti pumppaamon valuma-alueen keskimääräisen vedenkäytön ja pumppaamon kuivan ajanjakson keskimääräisen käyntiaikojen perusteella kaavan 2 mukaisesti.

$$\text{Arvioitu pumpun tuotto} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \frac{\text{Keskimääräinen vedenkulutus} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]}{\text{Pumpun käyntiaika kuivan ajanjakson aikana} \left[\frac{\text{h}}{\text{d}} \right]} \quad (2)$$

Kaavalla 2 laskettuihin pumpun tuottojen arvioihin tulee suhtautua hyvin varauksella, koska kaavasta saadulla tuloksella ei välttämättä ole mitään tekemistä todellisten pumppujen tuottojen kanssa. Laskenta perustuu kuivaan ajanjaksoon, jolloin oletetaan vuotovesimäärien olevan nollassa (ei vuotoa viemäriin tai sieltä pois), ja toisaalta pumppaamon valuma-alueen keskimääräisen kulutukseen, jonka oletetaan olevan vastaavan kuivan ajanjakson vedenkulutusta. Sijoittamalla kaavasta 2 saatu pumpun tuotto laskennallisen virtaaman kaavaan 1, saadaan karkea arvio virtaamasta, joka soveltuu pelkkää käyntiaikatarkastelua paremmin pumppaamoiden välillä tapahtuvan vuodon paikallistamiseen. Kaavalla 2 laskettua pumpun tuottoa käyttäen vuotovesien arvot kuivana ajanjaksona menevät nollassa, ellei kuivana ajanjaksona ole ollut pumppujen rinnakkaista käyntiä. Koska myös kuivana ajanjaksona voi muodostua vuotovesiä, esimerkiksi pinta- tai pohjavedestä johtuvan vuodon seurauksena, on tarkistettava, putoavatko kuivan ajanjakson käyntiajat yöaikana lähelle nollassa.

3.3 Vuotovesilaskennan tunnusluvut

Vuotovesi jätevesiviemäriverkostossa lasketaan vähentämällä viemäriverkoston virtaamasta vastaavan alueen vedenkulutuksen osuus (kaava 3). Virtaamatieto saadaan pumppaamoista mitatuista lähtövirtaamista tai pumpun tuoton ja käyntiajan perusteella lasketusta laskennallisesta virtaamasta (kaava 1). Vedenkulutustiedot saadaan vesihuoltolaitoksen laskutusjärjestelmästä. Koska vuotovesien laskennan tarkastelujaksot voi vaihdella vuorokausista vuosiin, käytetään laskennassa tarkastelujaksoa parhaiten kuvaavia yksiköitä, kuten esimerkiksi virtaamaa kuutiometriä vuodessa $[\text{m}^3/\text{a}]$ tai -vuorokaudessa $[\text{m}^3/\text{d}]$. Vertailun helpottamiseksi vuosi- ja viikkotason virtaamien kuvaamisessa on käytetty tässä työssä samaa yksikköä, vuorokauden keskimääräistä virtaamaa $[\text{m}^3/\text{d}]$.

$$\text{Vuotovesi} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] = \text{Viemäriverkoston virtaama} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] - \text{Alueen vedenkulutus} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] \quad (3)$$

Vuotovesien osuutta viemäriverkoston kokonaisvirtaamasta havainnollistetaan vuotovesiprocentin avulla (kaava 4). Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen julkaisun mukaan tyypillisen vuosittaisen vuotovesimäärän arvioidaan olevan noin 50 %:n suuruusluokkaa (Forss 2005, 21). Kaupunkikohtaisessa vuotovesimäärien tarkastelussa on huomioitava, että naapurikunnista kaupunkiin johdetut jätevedet saatetaan käsitellä laskutettuina jätevesinä, mikä pienentää kaupungin laskennallista vuotovesiprocenttia. Oikeampi tulos vuotovesistä saadaan jättämällä nämä naapurikuntien vedet tarkastelun ulkopuolelle. (Pöyry Finland Oy, 2011.) Vuotovesiprocentteja on käsitelty myös Maa- ja metsätalousministeriön tilaamissa YVES -raporteissa vuosina 1992 ja 2008. Vuosien 1995–2001 vuotovesien kokonaisosuus koko viemäriverkoston kokonaisvirtaamasta on ollut keskimäärin noin 29 %. 80-luvun tilanteeseen verrattuna vuotovesien absoluuttiset kokonaismäärät eivät ole pienentyneet, mutta niiden suhteelliset osuudet viemäriverkoston kokonaisvirtaamasta ovat pienentyneet silloisesta 30–80 %:n tasosta. Huolimatta viemäriverkoston pituuden merkittävästä kasvusta vuotovesien kokonaismäärä ei kuitenkaan ole kasvanut. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 11.)

$$\text{Vuotovesiprocentti [\%]} = \frac{\text{Vuotovesi} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right]}{\text{Viemäriverkoston virtaama} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right]} * 100 \text{ [\%]} \quad (4)$$

Tässä opinnäytetyössä on laskettu myös osa-alueittaisia vuotovesimääriä, joissa tarkasteltavan pumppaamon virtaamasta vähennetään edellisen pumppaamon virtaama sekä pumppaamoiden välille jääneen osa-alueen vedenkulutus (kaava 5). Kaavan tuloksena saadaan vuotoveden kertymä pumppaamoiden väliseltä alueelta.

$$\begin{aligned} \text{Osa-alueen vuotovesi} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] &= \text{Pumppaamon virtaama} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] - \\ &\quad \text{Edellisen pumppaamon virtaama} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] - \\ &\quad \text{Vedenkulutus pumppaamoiden välillä} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Yksi tapa viemäriverkoston vuotovesien ilmoittamiseen on käyttää yksikköä l/s johtokilometriä kohti (kaava 6) (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 466). Betoniviemärien osalta sallitut vuotovesimäärät johto-osuudella on lueteltu taulukossa 1. Sallittu vuotovesimäärä suurenee putken läpimitan kasvaessa.

$$\text{Vuotovesi johto-osuudella} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} * \text{km} \right] = \frac{\text{Vuotovesi} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]}{\text{Verkoston pituus} \left[\text{km} \right]} \quad (6)$$

TAULUKKO 1 Betoniviemärien sallitut vuotovesimäärät (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 467)

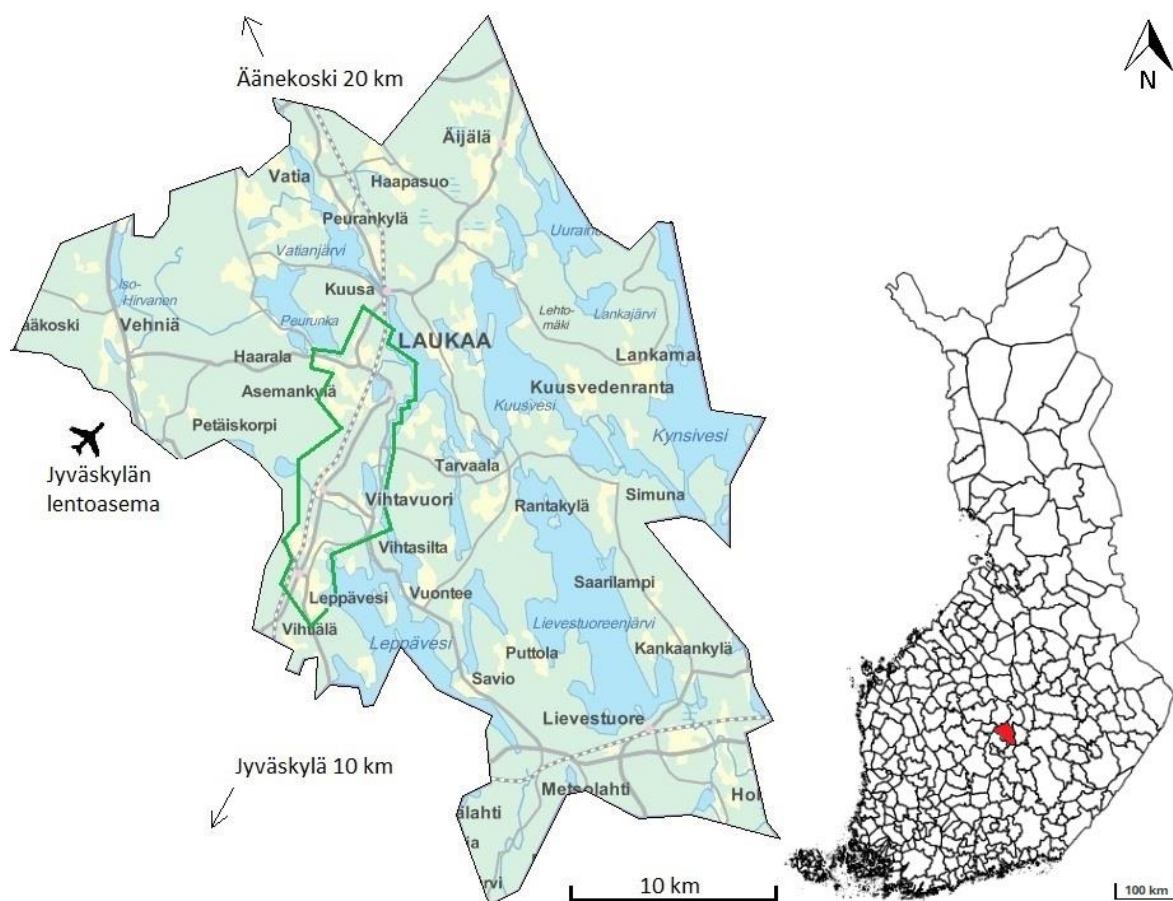
Putken läpimitta [mm]	Sallittu vuotovesimäärä [l/s*johto-km]
150	0,11
200	0,14
250	0,17
300	0,20
375	0,26
450–900	0,41

4 LAUKAAN VIEMÄRIVERKOSTON VUOTOVESISELVITYS

4.1 Tutkimuskohde

Laukaan kunta sijaitsee Keski-Suomen ydinalueella, Jyväskylän naapurissa (kuva 8). Pinta-alaltaan Laukaa on noin 825 km² suuruinen pitäjä, jonka taajamat ovat omaleimaisia ja haja-asutusalueet elinvoimaisia. Vuonna 2014 Laukaassa oli asukkaita 18 588 ja se jakautui kirkonkylän (5 314), Vihtavuoren (2 213), Leppäveden (3 237) ja Lievestuoreen (2 534) taajamiin. Merkittävä osa kuntalaisista asui myös haja-asutusalueella (5 201). (Laukaa.fi.) Laukaan länsipuolella sijaitsee Jyväskylän lentoasema, jonka yhteydessä on Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen mittausasema. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren ja Leppäveden alueen vuotovesiä. Aluerajaus on merkitty kuvaan 8 vihreällä viivalla.

Vuotovesiselvityksen alueella merkittävimmät vedenkäyttäjät ovat Peurungan kylpylä sekä Vihtavuoren räjähdetehtas (Nammo). Peurunka on alueen suurin talousveden käyttäjä (noin 12,0 % koko alueen käytöstä). Vihtavuoren tehtaan laskutetun talousveden osuus on pieni muodostuvaan jätevesimäärään verrattuna ja tehdas käyttänee prosesseissaan järvivettä. Vuotovesien laskennassa Vihtavuoren alueelta tulevat jätevedet käsitellään työssä laskutetun vedenkäytön tapaan. Tämä huomioon otettuna tehdasalueen vedenkäytön osuus on jopa 32,9 % koko tarkastelualueen käytöstä, Peurungan osuuden pienentyessä 8,1 %:iin.



KUVA 8 Laukaan kunta ja vuotovesiselvityksen alue (MML 2015)

4.2 Finnish Consulting Group Oy

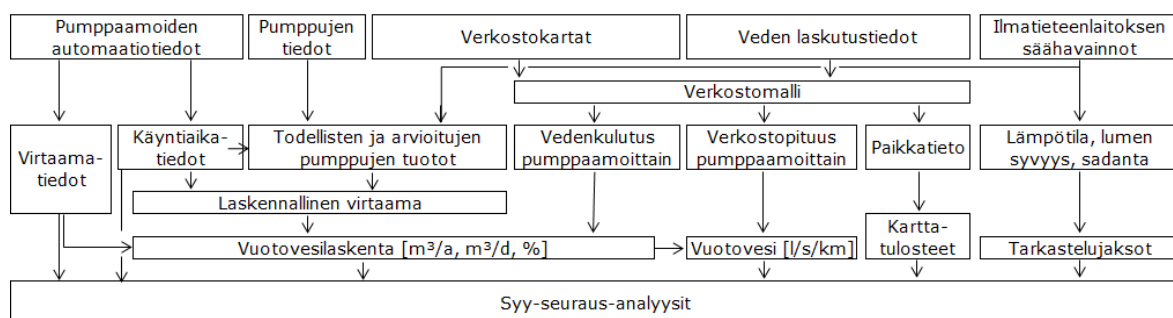
Finnish Consulting Group Oy (FCG) on julkisten palveluiden kehittämisen, johdon konsultoinnin, monialaisen koulutuksen, yhdyskuntasuunnittelun, vesihuollon sekä talonrakennuksen ja korjausrakentamisen palveluiden tarjoaja kotimaassa ja kansainvälisesti. Yhtiön asiakkaat ovat sekä yksityisen, että julkisen sektorin organisaatioita. FCG:n omistaa Kuntaliitto Holding Oy. (FCG 2015, 1.) Vesihuollon osalta FCG on yksi Suomen suurimmista suunnittelu- ja asiantuntijaorganisaatioista. FCG:n vesihuollon osaaminen kattaa vesihuoltokentän tarpeet suunnittelu-, asiantuntija-, tutkimus- ja rakennuttamispalveluiden osalta. FCG on kärkinimi vesihuollon verkostomallinnuksessa ja siihen pohjautuvissa älykkäissä ratkaisuissa. (FCG 2015, 18.)

FCGsmart-tiimi perustettiin vuonna 2013 tutkimaan ja kehittämään älykkäitä ratkaisuja vesihuollolle ja muille aloille. Älyvesi (Smart Water) on kattotermi niille tekniikoille, jotka mahdollistavat vesihuollon älykkään käytön, seurannan, kehittämisen ja raportoinnin. Älyveden kantavana ajatuksena on, että eri toimittajien tekemät järjestelmät ja verkostoon asennetut anturit keskustelisivat keskenään ja jalostaisivat kerätystä datasta merkityksellistä informaatiota. (Fcg.fi.) Vesilaitosten mittalaitteet tuottavat suuria tietomääriä, jotka ovat usein hajallaan eri järjestelmissä. FCG:n Mahti-työkalu mahdollistaa näiden tietojen vapaan yhdistämisen ja monipuolisen jatkokäsittelyn. Mahti tuo yhteen tiedot esimerkiksi automaatiosta, laboratoriosta ja ilmatieteen laitokselta (FCGsmart 2015, 1–2.) Tässä työssä Mahti-ohjelman avulla yhdistettiin Mipron MiSO-järjestelmään tallennettuja virtaama- ja käyntiaikatietoja, laskutustietojärjestelmän vedenkulutustietoja sekä Ilmatieteenlaitoksen säähavainnointia yhden ohjelman käyttöön.

4.3 Vuotovesiselvityksen lähtötiedot ja niiden hyödyntäminen

Vuotovesiselvityksessä käytetyt lähtöaineistot ja niiden hyödyntämistavat on esitetty vuokaavion muodossa kuviossa 2. Vuotovesiselvityksessä käytetyt aineistot olivat:

- Pumppaamoiden (17 kpl) virtaama- ja käyntiaikatiedot (2012–2014)
- Viemäriverkostokartat (2015)
- Talousveden laskutustiedot (2014)
- Ilmatieteen laitoksen säähavainnot (2013–2014)
- Pumppujen tiedot (vain Ritolahden pumppaamo).



KUVIO 2 Opinnäytetyön lähtöaineistojen hyödyntäminen vuotovesiselvityksessä

4.3.1 Jätevedenpumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatiedot

Jätevedenpumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatiedot ovat lähtöaineiston keskeisimpiä tietoja, koska vuotovesiselvitys pohjautuu pitkälti näiden tietojen analysointiin. 17:sta pumppaamosta viidestä oli saatavilla luotettavaa virtaamatietoa. Lopuista 12 pumppaamosta oli saatavilla vain pumppujen käyntiaikatiedot ja näiden pumppaamoiden virtaamat arvioitiin laskennallisesti kaavaa 1 käyttäen. Laukaan pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatietojen tuntikeskiarvot tallennetuvat Mipron MiSO-hallintajärjestelmän historiatietokantaan. Työtä varten historiatietokannasta ladattiin kaikkien pumppaamoiden tallennetut automaatiotiedot vuosilta 2012, 2013 ja 2014.

Historiatietokannasta haetut automaatiotiedot eivät kuitenkaan olleet suoraan avattavissa olevia tiedostoja, vaan niiden avaamiseen tarvittiin oikeanlainen käyttöliittymä, kuten Laukaan valvomokoneella oleva Mipron järjestelmä. Tässä tapauksessa sekä automaatio-, että säähavaintotiedot saatiin avattua FCG:n Mahti-ohjelman avulla. Järjestelmästä ladattu aineisto toimi työssä tietokannan tavoin. Virtaama- ja automaatiotiedot haettiin Mahdin kautta tietokantakyselyiden avulla. Tietokantakyselyiden muuttujat, kuten pumppaamokohtaiset virtaamien ja vuotovesien laskentakaavat, täytyi itse määrittää, jotta ne olisivat valittavissa Mahdissa. Muuttujien määrittäminen tapahtui parametri-tiedostossa, joka tehtiin Python-ohjelmointikielellä Notepad ++ -ohjelmalla.

Parametritiedostoon määritettiin

- tietokantojen sijainnit kansiorakenteessa (mistä esim. virtaama tai säätiedot haetaan)
- kaikki käytettävät suureet ja yksiköt (esim. virtaaman yksikkönä käytetään m^3/h)
- verkostomallista haettavat vakiot, kuten
 - pumppaamon valuma-alueen laskutettu vesimäärä [m^3/d]
 - pumppaamoalueen verkostopituus [km]
 - pumppaamon pumppujen tuotot [l/s]
- pumppaamokohtaiset
 - sijainnit (koordinaatit verkostomallista)
 - virtaamat [m^3/h] (esim. miso:132:ka)
 - käyntiajat [min/h] (esim. (miso:12:ka + miso:13:ka)*60)
 - vuotovedet valuma-alueelta [m^3/h] (esim. miso:132 - Pump_1_asutus/24)
 - vuotovedet osa-alueelta [m^3/h]
 - vuotovedet verkostokilometrillä [l/s/km]
- säähavaintoaseman tiedot
 - sijainnista (koordinaatit verkostomallista)
 - lumen syvyydestä [cm]
 - lämpötilasta [$^{\circ}\text{C}$]
 - sademäärästä [mm/h].

Esimerkki parametritiedoston laskukaavoista Python-tiedostossa on nähtävissä kuvassa 9. Kuvassa on esitetty esimerkkinä pumppaamon 1 virtaaman, asutuksen sekä vuotoveden parametrit. Esimerkiksi vuotoveden laskukaavassa pumppaamon virtaamamittauksen tuntikeskiarvo haetaan MiSO-tietokannan sijainnista 206, josta vähennetään pumppaamon 1 valuma-alueen asutuksen vuorokauden keskimääräisen tunnin kulutusmäärä kaavan 3 mukaisesti. Koska virtaama (FLOW) on määritetty automaattitietojen mukaiseen yksikköön m^3/h ja kulutustieto on merkitty muuttujissa yksikköön m^3/d , täytyy vuorokauden kulutusmäärä muuttua samaan yksikköön jakamalla muuttuja 24:llä. Pumppaamon 1 valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus on määritetty muuttujissa (variables) arvoon $30 \text{ m}^3/\text{d}$. Muuttujien lukuarvojen päivitys onnistuu helposti myös jälkikäteen, ilman kaavaan tehtäviä muutoksia. Automaattitiedot avattiin parametritiedoston kautta Mahti-ohjelmaan, jossa varsinainen tietojen tarkastelu ja kuvaajien piirto tapahtui.

Mahti-tiedostossa valittiin

- muuttujat (VAR) parametritiedostosta (esim. Pumpun 1 virtaama)
- tarkasteltava aikaväli (esim. 21.5.–1.6.2013)
- aika-askeleen pituus (esim. 01:00, eli tunnin välein)
- mahdolliset muut laskutoimitukset muuttujalle, kuten esimerkiksi
 - summa (esim. VAR1+VAR2)
 - keskiarvo (esim. avg(<VAR1>))
 - liukuva keskiarvo (esim. movingavg(<VAR1>,7*DAY)).

```

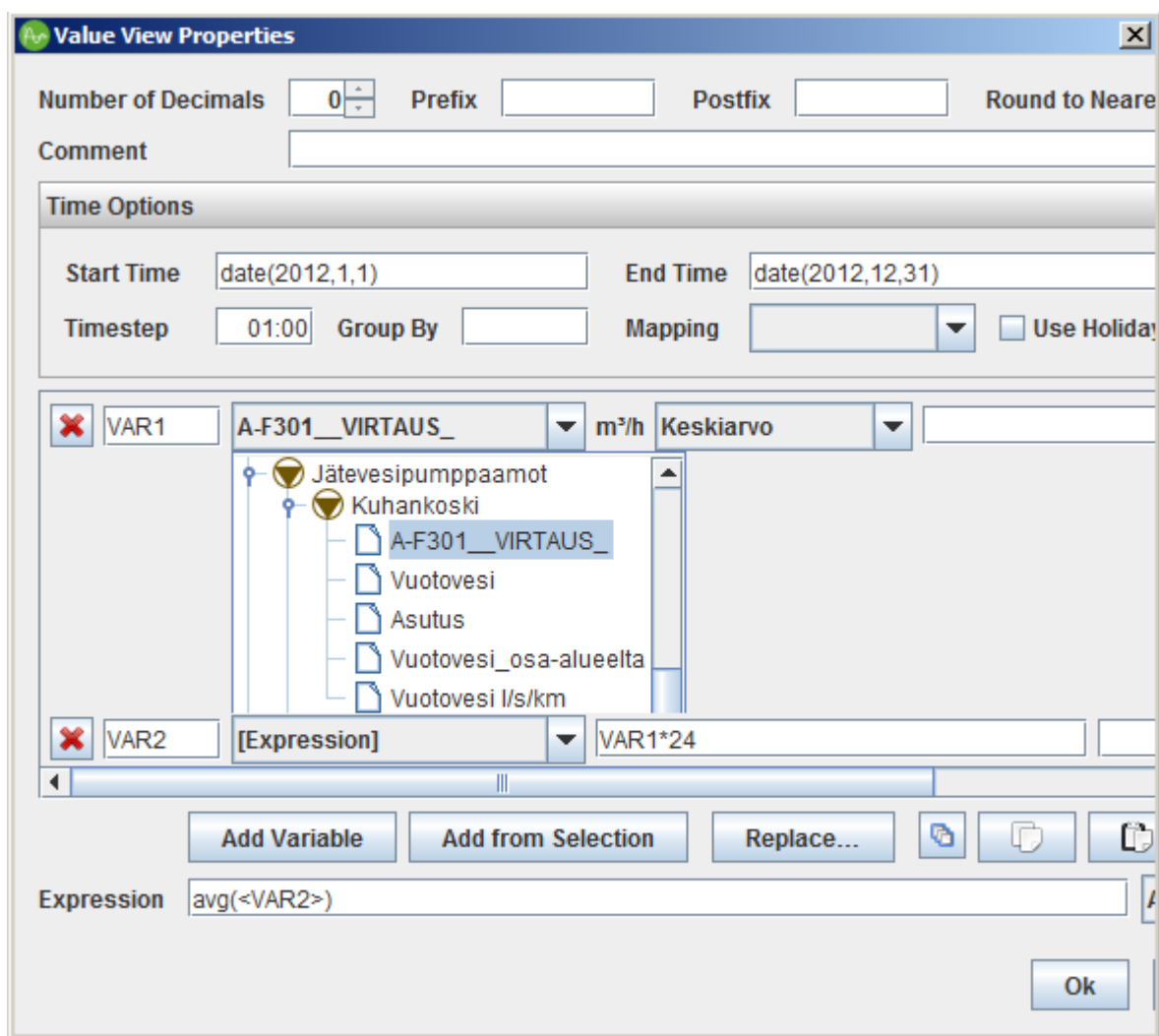
395 <variables>
396   <variable name="PUMPPAAMO_1_AS">30</variable>
397 </variables>
398
399 <locations>
400   <sewerpump name="Pumppaamo 1" x="3459662.4" y="6902568.8">
401     <parameter expression="miso:206:ka"
402       name="Virtaama" type="FLOW"/>
403
404     <parameter expression="(PUMPPAAMO_1_AS/24)"
405       name="Asutus" type="FLOW"/>
406
407     <parameter expression="(miso:206:ka) - (PUMPPAAMO_1_AS/24)"
408       name="Vuotovesi" type="FLOW"/>
409
410   </sewerpump>
411 </locations>

```

length Ln: 413 Col: 1 Sel: 0 | 0 Dos\Windows UTF-8 w/o BOM INS

KUVA 9 Pumppaamon 1 muuttujien kuvaus parametritiedostossa Notepad ++ -ohjelmassa

Esimerkki Mahti-ohjelman valikkonäkymästä on esitetty kuvassa 10, jossa on laskettu Kuhankosken pumppaamon virtaaman keskiarvo vuodelta 2012. Laskennassa on käytetty tunnin aika-askeleen keskiarvoa. Virtaama (VAR1) muutetaan yksikköön m³/d (VAR1*24) ja tuloksesta lasketaan keskiarvo (avg(<VAR2>)). Tuloksena saatu yksittäinen lukuarvo voi kuitenkin olla virheellinen, jos valitun aikajakson mittausdatassa esiintyy virheitä. Joidenkin pumppaamoiden mittausdata sisälsi tyhjiä aikajaksoja, joissa pumppaamon virtaama- tai käyntiaikatiedot putosivat nolnaan. Virhejaksot havaittiin piirtämällä pumppaamoiden virtaamista kuviot, jotka kattoivat koko tarkastelujakson, esimerkiksi koko vuoden 2012. Havaitut virheet huomioitiin virtaamien ja vuotovesien laskennassa jättämällä virheelliset aikavälit tarkastelun ulkopuolelle, esimerkiksi laskemalla vuoden keskiarvo vasta maaliskuulta lähtien. Mikäli virhe ei ollut merkittävä, mainittiin siitä vain osana tekstiä.



KUVA 10 Esimerkki Mahti-ohjelman valikkonäkymästä

4.3.2 Viemäriverkostokartat

Laukaan viemäriverkostokarttoja hyödynnettiin FCGswmm-verkostomallin tekemisessä. Verkostomallin avulla saatiin selville vedenkulutus ja verkostopituus pumppaamon valuma-alueilla ja pienemmillä osa-alueilla. Verkostomallia hyödynnettiin myös paikkatietoaineistona karttatulosteiden tekemisessä. Viemärimallinnuksen perustana oli johtotietojärjestelmässä ylläpidetty viemäriverkostokartta, johon oli merkitty kaivojen sijainnit sekä kaivon pohjan korkeudet.

Laukaan viemäriverkostokartta ladattiin mallinnusohjelman taustalle dxf-muotoisena verkoston piirtämisen tueksi. Verkostokartan koordinaatistona käytettiin KJ / Finland Uniform Coordinate System (2393) -koordinaatistoa. Kuva valmiista verkostomallista on nähtävissä kuvassa 11. Tässä työssä verkostomallin hydraulisia ja hydrologisia ominaisuuksia ei juuri hyödynnetty, vaikka verkostomallin piirtämiseen käytettiin paljon aikaa. Esimerkiksi kaikki runkolinjoihin tarkastuskaivot ja niiden välillä olevat putket mallinnettiin verkostokartan korko- ja putkimerkintöjen mukaisesti, vaikka työn kannalta näitä tietoja ei verkostomalliin olisi tarvinnut lisätä. Verkostomallin hydraulisia ominaisuuksia ei hyödynnetty, koska lähtötietoja pumppaamoiden mitoista, korkeusasemista tai itse pumppuista ei ollut riittävästi saatavilla. Mikäli pumppaamon mitat ja korkotiedot olisivat olleet saatavilla, olisi verkostomallia voitu hyödyntää muun muassa pumpun tuottojen laskennassa (kaavan 2 sijaan). Verkostomallia hyödynnettiin tässä työssä paikkatietoaineistona ja työkaluna veden kulutuspuisteiden sijoittamisessa oikeille pumppaamoalueille. Putkiosuudet mallinnettiin pumppaamon yläpuolisen verkoston pituuden selvittämiseksi, jotta vuotovesimäärät verkostokilometriä kohden voitaisiin laskea.



KUVA 11 Laukaan viemäriverkostomalli kokonaisuudessaan (vasemmalla) ja veden kulutustietojen (violetit pisteet) kytkeytyminen verkostomallin solmuihin (oikealla)

4.3.3 Veden laskutustiedot

Veden laskutustietojen avulla voidaan arvioida jäteveden osuus pumppaamon virtaamasta, jolloin virtaamasta jäljelle jäävä osuus koostuu vuotovesistä.

TAULUKKO 2 Vedenkulutustietoihin liittyviä oletuksia vuotovesiselvityksessä

	Todellinen tilanne	Mallinnettu tilanne
Vedenkulutus	Vaihtelee	Tasainen kulutus ympäri vuoden
Kasteluun käytetty talousvesi	Ei aina päädy jv-viemäriin	Päätyy kokonaisuudessaan jv-viemäriin
Vedenkulutus haja-asutusalueella	Ei aina päädy kunnalliseen viemäriin	Poistettu verkostomallista, jos verkostokartta ei ylety alueelle
Teollisiin prosesseihin käytetty järvesi (ei näy vedenkulutustiedoissa)	Ei ole vuotovettä	On vuotovettä, jos ei ole erikseen huomioitu. Tässä työssä on huomioitu vain Nammon osalta.

Veden laskutustiedot saatiin käyttöön Laukaan laskutusjärjestelmästä. Tiedot sisälsivät kiinteistökohtaiset vuosikulutustiedot vuodelta 2014. Jokaisen kulutustiedon yhteyteen oli merkitty osoite, jota vastaavat koordinaatit haettiin FCG:n suunnittelupäällikkö Antti Smolanderin toimesta. Vuotuiset kulutustiedot muutettiin yksikköön litraa sekunnissa (l/s) ja tiedot lisättiin FCGswmm -verkostomalliin kulutus pisteinä käyttämällä ohjelman Import Geocoded Demands -toimintoa. Toiminto kytki kulutus pisteet verkostomallissa lähimpänä oleviin solmuihin (kuva 11). Osa kulutus pisteiden kytköksistä piti korjata jälkikäteen manuaalisesti, jos kulutustieto ohjautui väärään solmuun, kuten esimerkiksi paineviemäriin. Osa solmuista täytyi myös poistaa, mikäli ne ulottuivat verkostokarttaan merkityn kunnallisen viemäriverkoston ulkopuolelle (haja-asutusalueet). Veden kulutusmäärät haettiin pumppaamoittain FCGswmm:n Pump Station Capacity Analysator -toiminnon avulla. Toiminto haki pumppaamon yläpuoliseen verkostoon kytkettyjen kulutus pisteiden virtaaman summan (l/s). Virtaaman arvo muutettiin yksikköön m³/d, joka vastaa pumppaamolle tulevaa keskimääräisen vuorokauden keskimääräistä kulutusmäärää.

Veden kulutustietojen käsittelyssä jouduttiin tekemään myös oletuksia ja niitä on esitetty taulukossa 2. Työssä on oletettu muun muassa, että kaikki laskutettu käyttövesi ohjautuu jätevesiviemäriin. Todellisuudessa osa vedestä päätyy jätevesiviemäriin ulkopuolelle esimerkiksi puutarhan kastelun tai luistelulenttien jäädyttämisen yhteydessä. Työssä oletettiin myös, että vuorokauden vedenkäyttö vastaa aina vuosiarvosta laskettua keskimääräistä vedenkulutusta. Todellisuudessa esimerkiksi koulut ja useat uimahallit ovat suljettuina kesäaikaan ja vedenkäyttö on silloin niissä vähäisempää. Mikäli todellisen vedenkäyttö on laskennallista keskimääräistä kulutusta suurempi, näkyy jäljelle jäävä osuus pumppaamon virtaamassa vuotovenenä. Jos alueen todellinen vedenkulutus on keskimääräistä alhaisempi, voi vuotoveden arvo jopa mennä negatiivisen puolelle.

4.3.4 Säähavainnot

Virtaama- ja käyntiajoissa ilmennelle maksimi- ja minimiarvoille haettiin selitystä Ilmatieteen laitoksen säähavainnoista (Jyväskylän lentoaseman mittausasema). Ilmatieteen laitoksen tietoaineistoja on ollut saatavilla julkiseen käyttöön maksutta kesästä 2013 lähtien. Vuotovesiselvityksessä käytettiin Jyväskylän lentoasemalla sijaitsevan Ilmatieteen laitoksen sääaseman mittaamia säähavaintoja. Sääasema sijaitsee noin 15 km päässä Laukaan kirkonkylästä (kuva 8) ja sen katsottiin olevan havaintoasemista lähimpänä tutkimuskohdetta. Työssä hyödynnettiin lumen syvyyden, lämpötilan ja sadannan tietoja vuosilta 2013 ja 2014. Lämpötilan ja sadannan arvot olivat 10 min mittausvälin keskiarvoja. Sademäärä summattiin vuorokauden sadannaksi, joka oli työn kannalta riittävä tarkkuus. Lumen syvyyttiedon mittausväli oli kerran vuorokaudessa. Säähavaintomittaukset Jyväskylän lentoasemalla perustuvat todennäköisesti automaatioon.

Ilmatieteenlaitoksen automaattiset sademittarit ovat punnitsevia säävaakoja, joiden mittaus perustuu venymäluiska-anturin käyttöön. Sademittarin yhteydessä käytetään Tretyakov-tuulisuojusta (kuva 12). Sademittarilla voidaan määrittää myös lumisateita, kun sadeastiassa käytetään sulatusnestettä. Sademittarin kauluksen lämmitys ehkäisee suuaukon täyttymisen lumisateella. Sademittarin suuaukko sijoitetaan 1,5 metrin korkeudelle paikkaan, jossa ympäristön esteet ovat noin kaksi kertaa korkeutensa etäisyydellä sadeastiasta. Ilmatieteen laitoksen lumensyvyyden mittauslaite on nähtävillä kuvassa 12. Lumensyvyyden automaattimittaus perustuu ultraääneen, jonka kulku-aikaa mitataan lähettimen, kohteen ja vastaanottimen välillä. Ultraäänietäisyysanturin tuottama datasanoma muutetaan lumensyvyyden arvoksi sääaseman keskusyksikössä. Mittauksen tulos vielä lämpötilakompensoidaan, koska äänen kulkunopeus riippuu ilman lämpötilasta. Lumensyvyydsmittauksen alustana käytetään keinonurmialustaa, joka pysyy rikkaruohottomana. Ilman lämpötilamittaus tehdään kahden metrin korkeudessa Pt100-vastusanturin avulla (kuva 12), jonka toiminta perustuu platinajohtimen resistanssin muuttumiseen lämpötilasta riippuen. Resistanssilukema muutetaan lämpötilalukemaksi sääaseman keskusyksikössä. Lämpötila-anturi on suojattu suoralta auringon säteilyltä tuulettuvan säteilysuojan avulla. (Ilmatieteenlaitos.fi.)

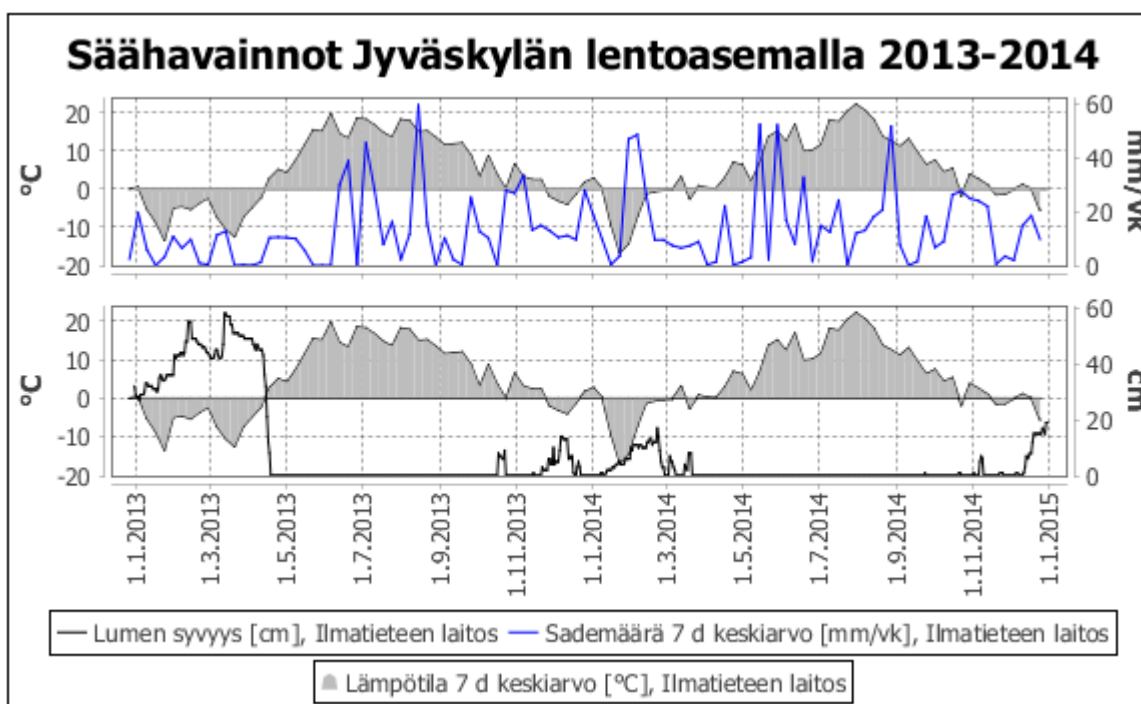


KUVA 12 Punnitseva sademittari (vas.), lumensyvyydsmittari (kesk.) ja lämpötilanmittauslaite (oik.) (Ilmatieteenlaitos.fi).

Sääaineiston latauksen Ilmatieteen laitokselta suoritti työn ohjaaja Antti Smolander (FCG). Säähavainnot lisättiin virtaama- ja käyntiaikatietojen tapaan parametritiedostoon, jolloin ne olivat myös Mahdin kautta avattavissa. Tutkimuskohteen ja mittausaseman välisen etäisyyden vuoksi (15 km) säähavainnot eivät välttämättä täysin kuvaa tutkimusalueen säätilaa, erityisesti sadannan osalta. On mahdollista, että jotkin lentoasemalla mitatut rankkasateet eivät ole vaikuttaneet samalla tavoin vuotovesiselvityksen alueella. Toisaalta kaikki tutkimusalueen sateet eivät välttämättä näy lentoaseman mittauksissa. Sadantatietojen tarkkuutta olisi mahdollista parantaa tulevaisuudessa tihentämällä säähavaintoasemaverkkoa tai kokeilemalla säätutkadatan hyödynnettävyyttä sateen intensiteetin määrittämisessä osana vuotovesiselvitystä. Lentoasemalla mitatun lämpötilan katsotaan vastaavan tutkimusalueen lämpötiloja. Lumikerroksen paksuus ei kaikilla alueilla vastaa mitattua, koska lumen syvyydessä on paikallista vaihtelua esimerkiksi lumen auraamisesta, varjoisista alueista ja eri päällysteistä (lumen sulaminen voimakkaampaa asfaltoiduilla alueilla) johtuen.

Vuosien 2013–2014 Ilmatieteen laitoksen säähavainnot Jyväskylän lentoaseman havaintoasemalla on nähtävissä kuviossa 3. Lämpötila on kuvattu kuviossa harmaalla väritettynä alueena seitsemän vuorokauden keskiarvona. Lämpötilan ollessa nollan alapuolella sade (sininen viiva) on tullut maahan lumena (musta viiva). Mittausdatan mukaan sadanta vuonna 2013 oli 640 mm ja vuonna 2014 774 mm. Säähavainnoista etsittiin vuotovesiselvityksen keskeiset ajankohdat, joita olivat rankkasateiden, lumen sulamisen sekä sateettoman sään aikajakso. Näitä aikajaksoja verrattiin pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatiedoissa tapahtuneisiin muutoksiin. Toisaalta myös pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikapiikeille etsittiin selittäviä tekijöitä säätilan muutoksista. Vuotovesiselvityksen tärkeimmät ajankohdat olivat:

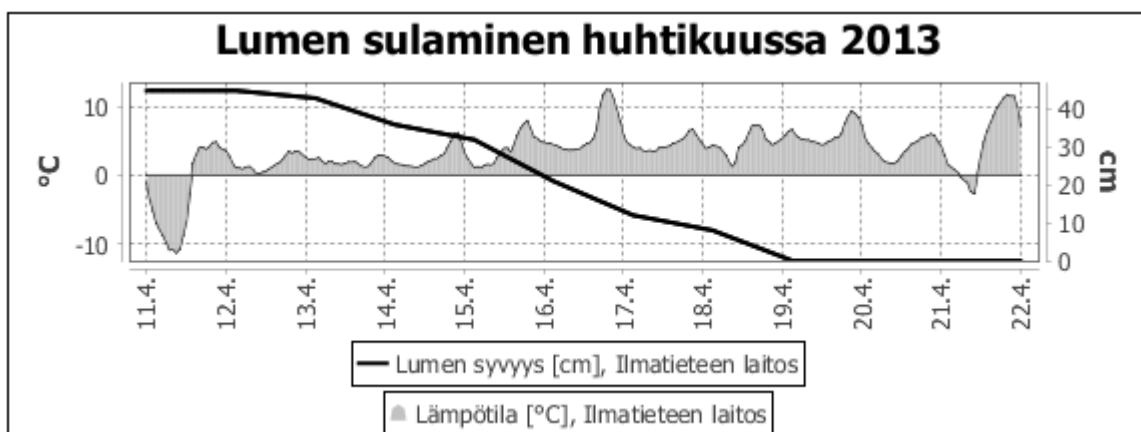
- vuoden 2013 kevään lumen sulaminen (15.–21.4.2013)
- vuoden 2014 syyskuun kuiva jakso (8.–14.9.2013).



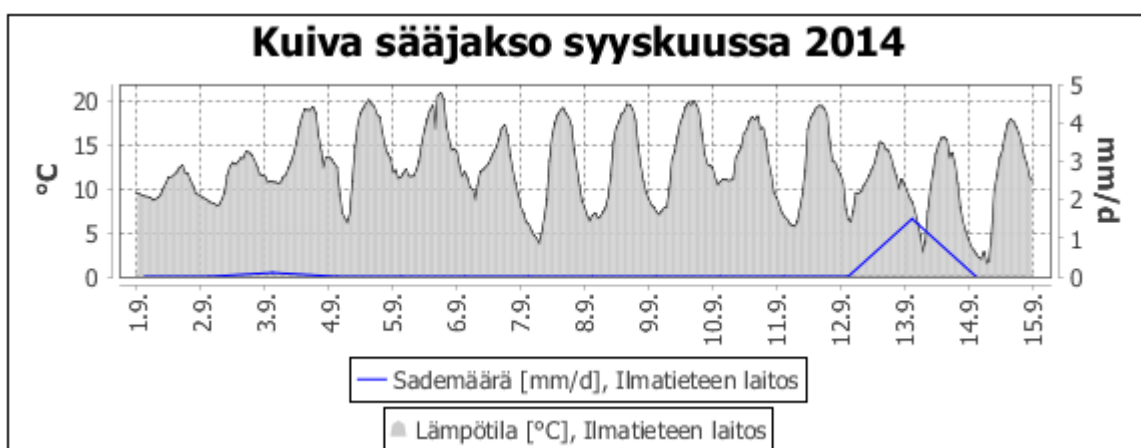
KUVIO 3 Sadannan, lumen syvyyden ja lämpötilan säähavainnot vuosina 2013–2014

Lumisen talven jälkeen lumen sulaessa hulevesien, ja siten myös vuotovesien määrät ovat suurimmillaan. Lumen sulamisen vaikutus pumppaamoiden virtaamiin näkyi erityisesti keväällä 2013, jolloin mitattiin myös vuotta 2014 korkeammat lumipeitteet (kuvio 3). Keväällä 2013 tapahtunut nopea lämpötilanmuutos mahdollisti lumen nopean sulamisen (kuvio 4). Tällöin 45 cm lunta sulii yhden viikon aikana (12.4.2013–19.4.2013). Pumppaamoiden virtaamissa lumen sulaminen näkyi hieman viiveellä, ja suurimmat pumppaamoiden virtaamat mitattiin 15.4.2013–19.4.2013 välisenä aikana, joka valittiin yhdeksi tarkasteluajankohdaksi pumppaamoiden taulukkomuotoisten tulosten esittämiselle.

Kuiva sääjakso ilmentää viemäriverkostossa tilannetta, jolloin vuotoveden määrä verkostossa on minimissään. Kuivaksi ajankohdaksi valittiin säähavaintojen ja Vihtavuoren pumppaamon virtaamien perusteella viikon mittainen osuus vuoden 2014 syyskuulta (8.–14.9.2014). Kuivan sääjakson säähavainnot on esitetty kuviossa 5. Aikajaksoa edeltäneenä viikolla (1.–7.9.2014) ei ole mitattu sateita, joten vajovesistä johtuvan vuodon oletetaan olevan pientä tuona ajanjaksona. Kuivan sääjakson aikaan pumppaamoiden vuorokausivirtaamien pitäisi lähestyä keskimääräisen vedenkäytön arvoja. Jos viemäriverkostossa esiintyy pohja- tai pintavedestä johtuvaa tasaista vuotoa, näkyy vuoto pumppaamoissa kohonneina virtaamina ja käyntiaikoina myös kuivalla kelillä. Tasaisen vuodon suuruutta voidaan arvioida kuivan kelin yöaikaisista virtaamista, vedenkulutuksen ollessa minimissään.



KUVIO 4 Lumen sulaminen vuoden 2013 keväällä

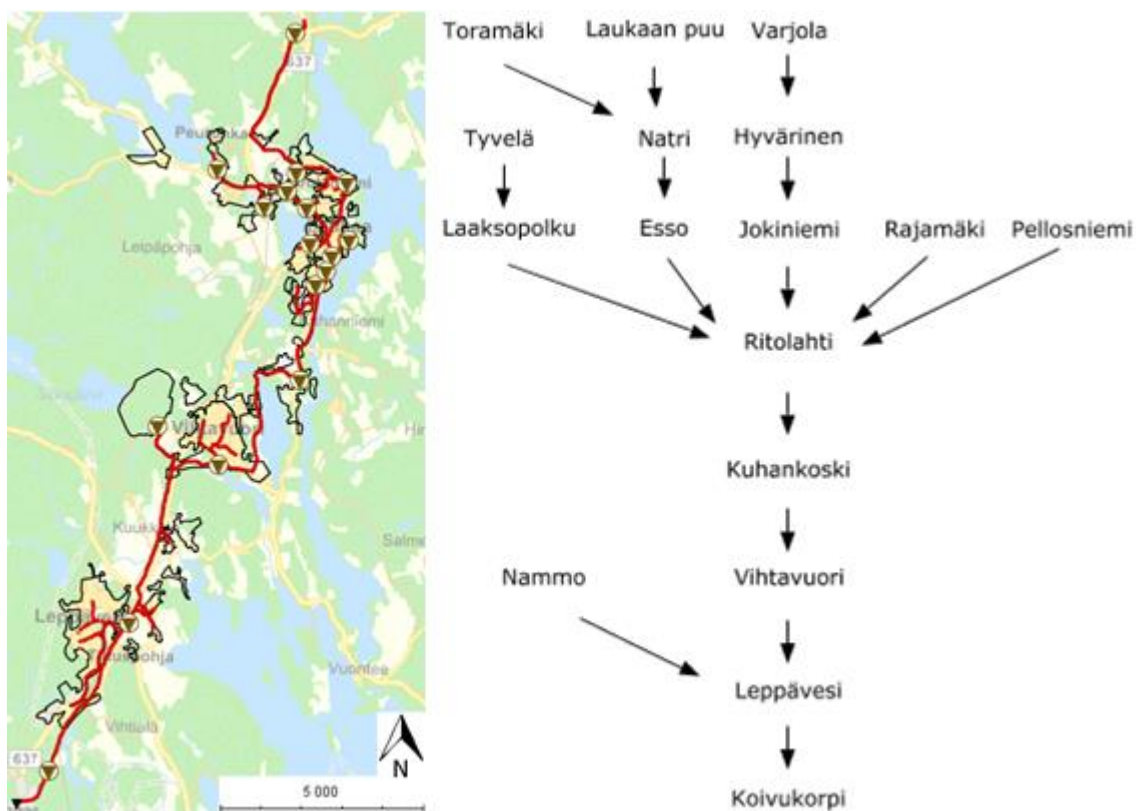


KUVIO 5 Sähavainnot kuivana ajanjaksona vuoden 2014 syyskuussa

4.4 Vuotovesiselvitykseen valitut pumppaamot

Vuotovesiselvitykseen valittiin yhteensä 17 pumppaamaa, jotka on esitetty kartalla ja kaaviomuotoisena kuvassa 13. Pumppaamot valittiin mielivaltaisesti ja vedenkäyttötietoihin perustuen niin, että pumppaamoiden valuma-alueet, joiden keskimääräinen vedenkulutus oli alle $10 \text{ m}^3/\text{d}$, jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin myös yhdet pumppaamot Leppäveden ja Vihtavuoren pumppaamoiden osa-alueilta. Työn painopiste kohdistettiin Laukaan kirkonkylän viemäriverkostoon, koska siellä pumppaamot olivat muita alueita tiheämmässä, mahdollistaen vuotavuusanalyysien tekemisen pienemmille osa-alueille. Ritolahden pumppaamon valuma-alueelta (Laukaan kirkonkylä) valittiin käsittelyyn yhteensä 12 pumppaamaa. Näillä pumppaamoilla ongelmaksi muodostui virtaamatietojen puute. 12:sta pumppaamon vuotovesiselvitys pohjautuu pumppujen käyntiaikatietojen analysointiin. Pumppaamoiden virtaamia yritettiin myös arvioida laskennallisesti kaavojen 1 ja 2 avulla, mutta näihin arvioihin ei kannata liikaa luottaa.

Kuhankosken pumppaamon alapuolisista viidestä pumppaamosta virtaamatiedot oli saatavissa. Kuhankosken ja Ritolahden pumppaamon välisen alueen vuotavuutta ei voitu luotettavasti arvioida, koska Ritolahden pumppaamolta ei ollut saatavilla virtaamatietoa. Nammon osalta ongelmallista oli tehdasalueen vedenkäyttötietojen puute (tai sen vähyyks verrattuna pumppaamon virtaamiin) ja alue todennäköisesti ottaa prosessivetensä läheisestä järvestä. Leppäveden ja Vihtavuoren taajama-alueet olivat työssä laajoja viettoviemäriä alueita. Jos nämä alueet osoittautuvat runsaasti vuotaviksi, ovat tarkemmat vuotovesiselvitykset tarpeen. Lisäselvityksissä olisi suositeltavaa hyödyntää siirrettäviä virtaamamittareita. Leppäveden ja Koivukorven pumppaamoiden välissä ei ollut viemäri-liittymiä, joten pumppaamoiden välinen vuotavuus/vuotamattomuus oli helposti tarkistettavissa.



KUVA 13 Vuotovesiselvitykseen valitut pumppaamot

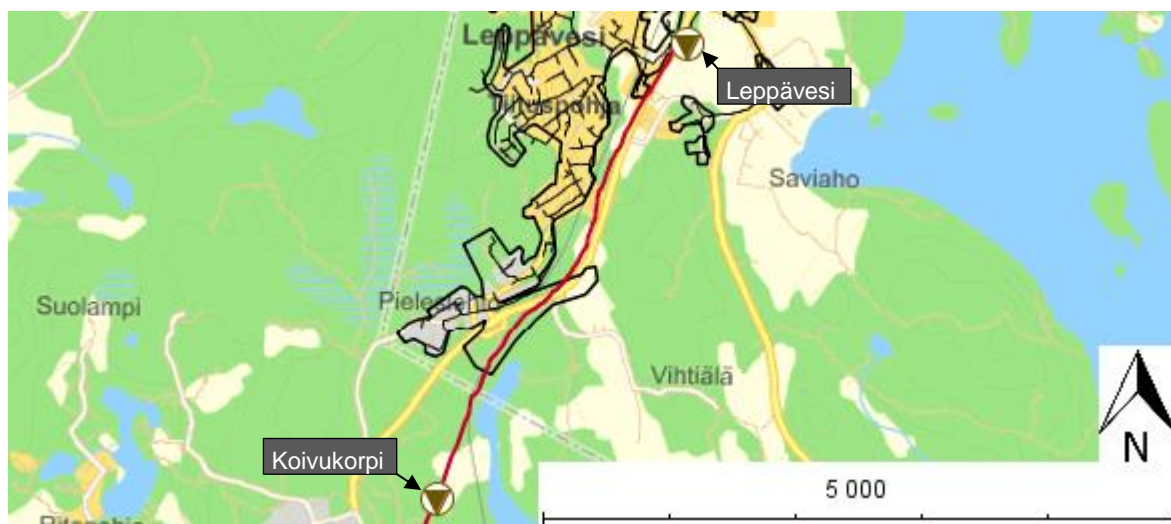
5 TULOKSET PUMPPAAMOITTAIN

5.1 Koivukorpi

TAULUKKO 3 Virtaamat ja vuotovedet Koivukorven pumpptaamolla

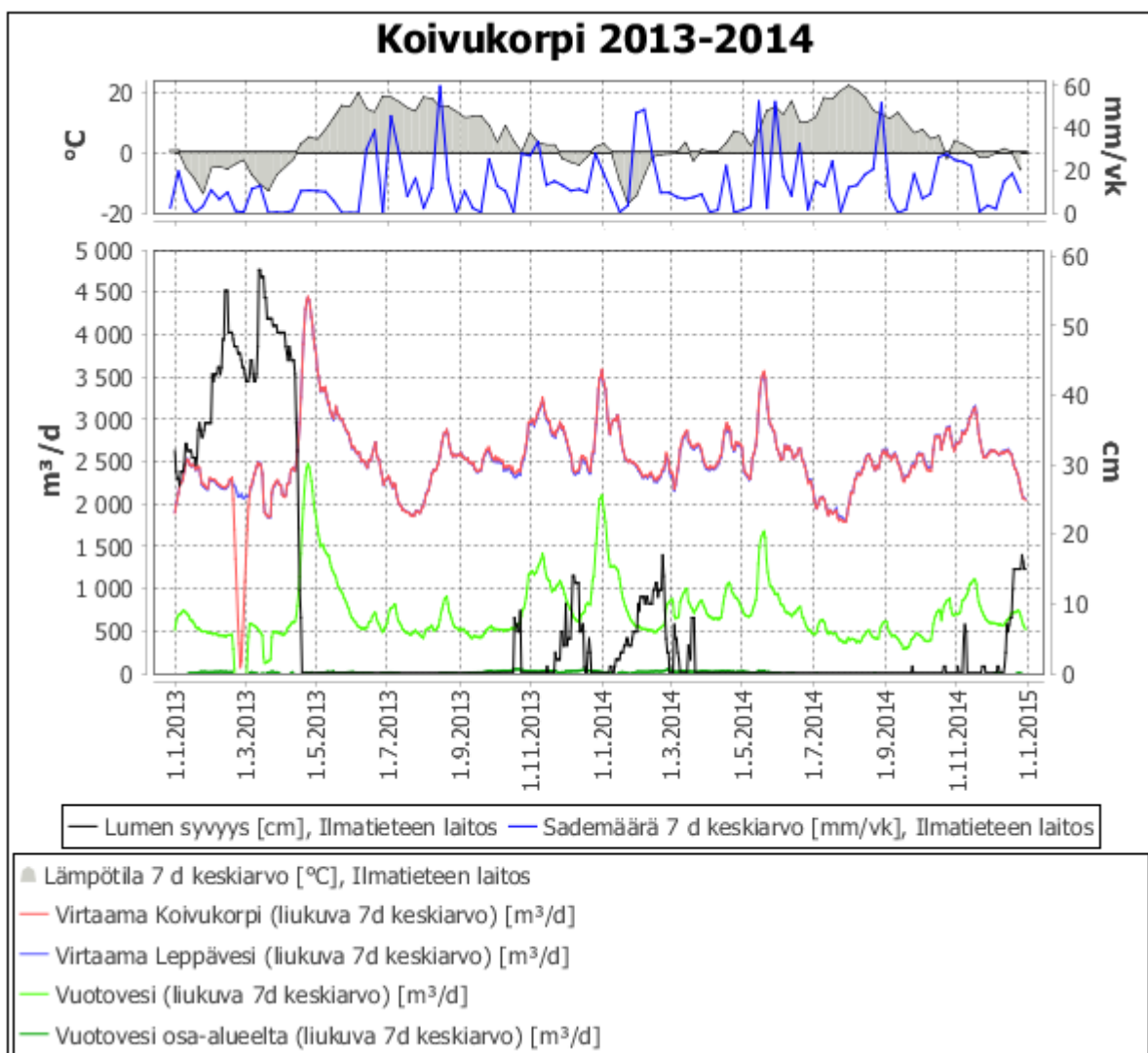
Pumppaamo: Koivukorpi Verkoston pituus: 131,2 km	Yks.	Vuositain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	2 736	2 527	2 530	4 278	2 358
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	1 802	1 806	1 842	1 979	2 017
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	933	721	688	2 299	341
prosentti	%	34,1	28,5	27,2	53,7	14,5
johto-osuudella	l/s/km	0,08	0,06	0,06	0,20	0,03
pumppaamon alueelta	m ³ /d	-6	-30	1	10	-10
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	-0,7	-4,2	0,1	0,4	-2,9

Jätevedet Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren ja Leppäveden alueilta sekä Eurenco Vihtavuori Oy:n tehtailta johdetaan käsiteltäväksi Jyväskylän Nenäinniemeen (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy) (Laukaa.fi). Koivukorven pumppaamo pumppaa koko tarkastelualueen jäte- ja vuotovedet. Koivukorven pumppaamo edeltää Leppäveden pumppaamo ja näiden pumppaamoiden välissä ei ole viemäri liittymiä (kuva 14). Toisin sanoen, Leppäveden ja Koivukorven pumppaamot pumppaavat täsmälleen samat vesimäärät, ellei pumppaamoiden välillä ole vuotokohtia. Koivukorven pumppaamon keskimääräinen virtaama vuonna 2014 oli 2 530 m³/d (taulukko 3). Keskimääräisen kulutuksen osuus virtaamasta oli noin 1 842 m³/d. Keskimääräinen kulutus sisältää laskutusjärjestelmän vedenkäyttötiedot sekä Nammon pumppaamon lähtövirtaaman (tehdasalueelta ei saatavilla vedenkäyttötietoja). Laskutusjärjestelmän tiedot ovat kaikilla aikajaksoilla samat ja ne ovat vuoden 2014 keskiarvoja. Kaikkien pumppaamoiden vuotovedet laskettiin kaavojen 3–6 mukaisesti. Vuonna 2014 Koivukorven pumppaamon vuotovesien osuus virtaamasta oli 27,2 % (keskimäärin 688 m³/d, taulukko 3).



KUVA 14 Koivukorven ja Leppäveden pumppaamot

Kuviossa 6 on esitetty Koivukorven ja Leppäveden pumppaamon virtaaman vaihtelu vuosien 2013 ja 2014 aikana. Säähavaintojen osalta lämpötila ja sadanta on esitetty kuvion yläosassa, lumen syvyys kuvion alaosassa virtaamien yhteydessä. Virtaamat on merkitty kuvioon punaisilla ja sinisillä viivoilla. Vuotovesien osuus virtaamasta on merkitty kuvioon vaalean vihreällä ja se on laskettu vähentämällä Koivukorven pumppaamon virtaamasta keskimääräinen vedenkulutus (1 238 m³/d) sekä Nammon pumppaamon virtaama. Vuotovesimäärät vaihtelevat voimakkaasti vallitsevan sään mukaan. Suurimmillaan ne olivat 15.–21.4.2013 välisenä aikana lumen sulaessa, jolloin jopa yli puolet virtaamasta (53,7 %) oli vuotovesiä (taulukko 3). Kuivan ajanjakson aikaan (8–14.9.2014) vuotovesiä arvioitiin muodostuneen keskimäärin 341 m³/d (14,5 %). Vuotovettä voi muodostua kuivanakin ajanjaksona, jos viemärin vuotavia verkoston osia on pohja- tai pintaveden alapuolella. On myös mahdollista, että vedenkulutus kuivan ajanjaksona on ollut keskimääräistä vedenkäyttöä suurempaa (näkyen vuotovetenä). Vuotovesi ei ole peräisin Koivukorven ja Leppäveden pumppaamoiden väliltä, koska pumppaamoiden virtaamat ovat yhtenevät. Virtaamien erotus on nähtävissä kuviossa 6 tumman vihreällä viivalla. Vuotavat osuudet ovat siis ylemmissä verkoston osissa, ennen Leppäveden pumppaamaa. Koivukorven pumppaamon virtaamamittauksiin sisältyy virhejakso helmikuun 2013 lopulla, jolloin virtaaman lukuarvo putoaa nolnaan. Tämä virhejakso vaikuttaa myös taulukossa 3 nähtäviin vuoden 2013 arvoihin.



KUVIO 6 Koivukorven pumppaamon virtaama ja vuotovedet 2013–2014

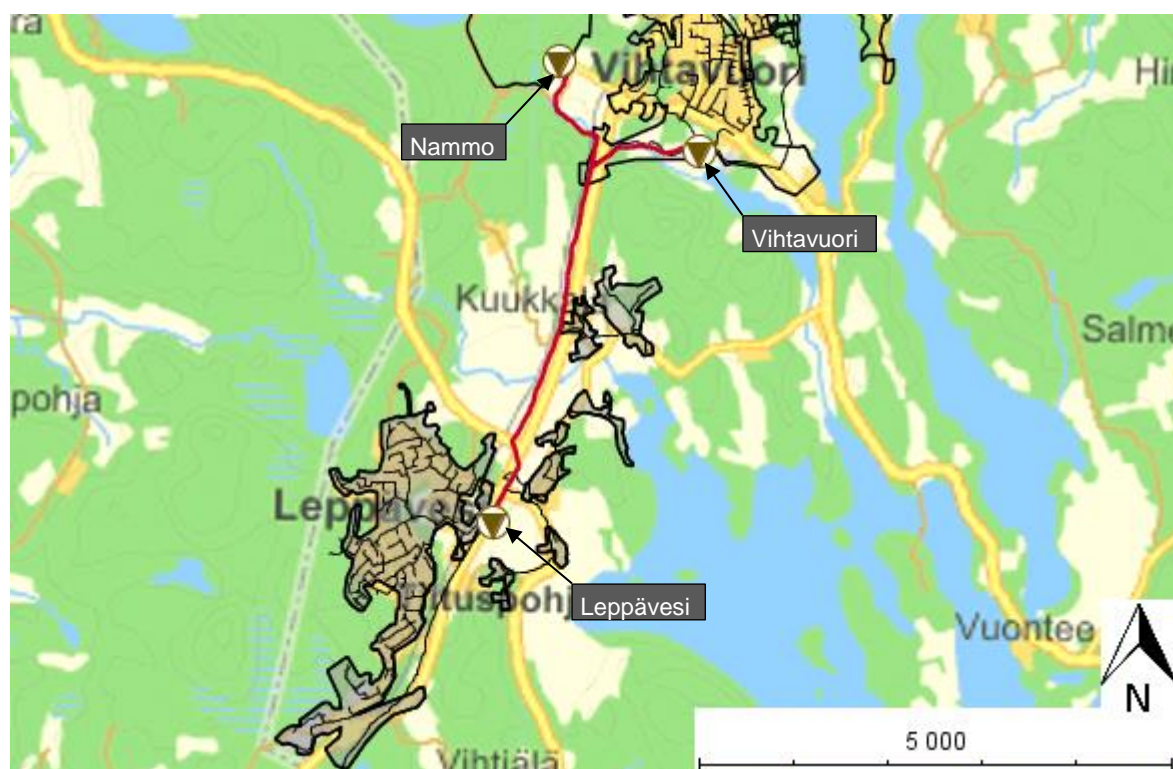
5.2 Leppävesi

TAULUKKO 4 Virtaamat ja vuotovedit Leppäveden pumppaamolla

Pumppaamo: Leppävesi Verkoston pituus: 126,9 km	Yks.	Vuositain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	2 742	2 557	2 529	4 269	2 368
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	1 802	1 806	1 842	1 979	2 017
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	940	751	687	2 290	351
prosentti	%	34,3	29,4	27,2	53,6	14,8
johto-osuudella	l/s/km	0,09	0,07	0,06	0,21	0,03
pumppaamon alueelta	m ³ /d	171	142*	115	929	84
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	18,2	17,1*	16,7	40,6	23,8

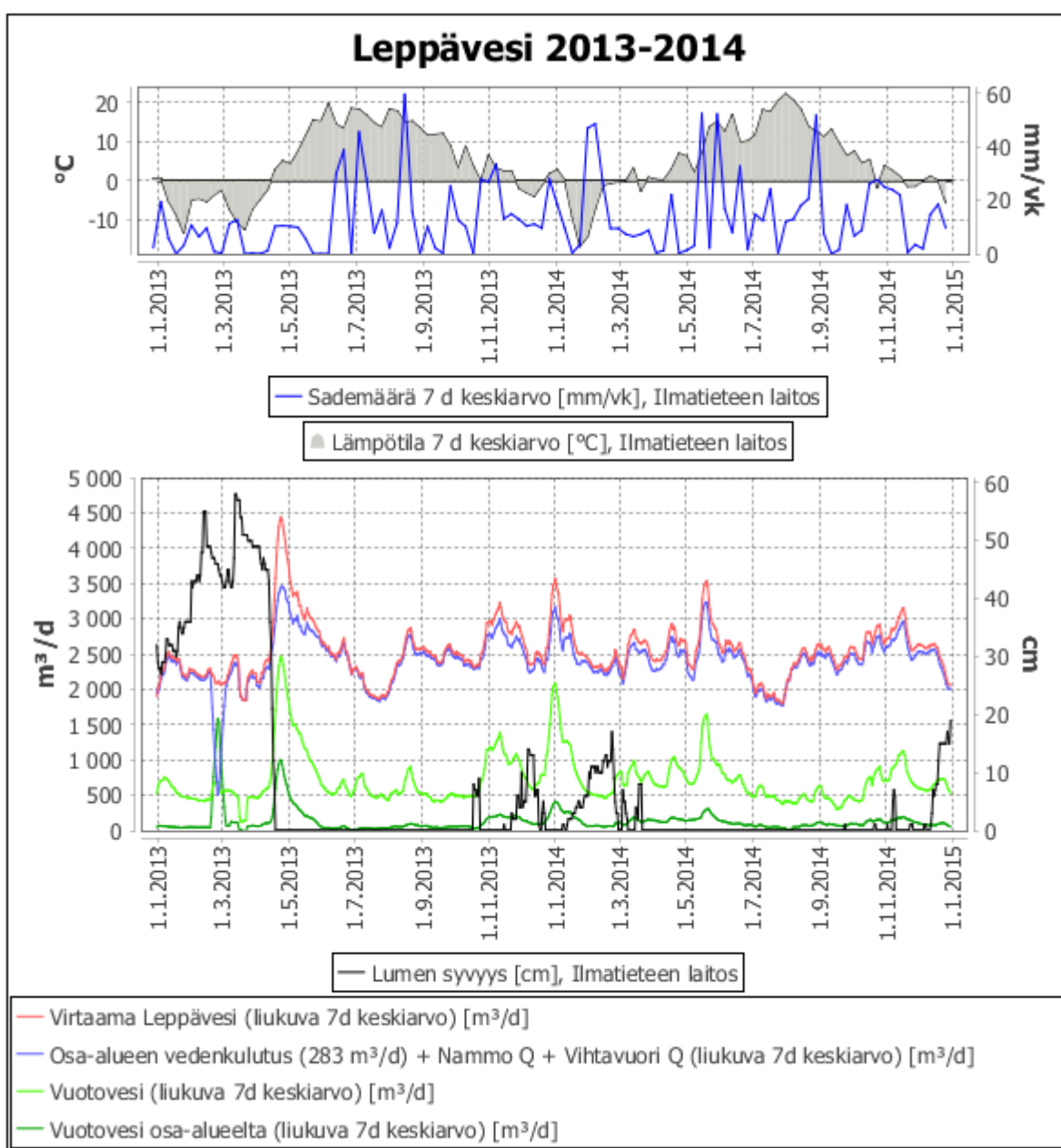
*Aikajakso 1.4.2013 - 31.12.2013.

Tässä vuotovesiselvityksessä Leppäveden pumppaamo muodostaa laajan alueen, joka kattaa koko Leppäveden taajaman ja muutamia pieniä pumppaamoalueita (kuva 15). Leppäveden pumppaamo vastaanottaa myös Nammon ja Vihtavuoren pumppaamoiden siirtämiä viemäriä. Nammon ja Vihtavuoren pumppaamoiden paineviemärit yhdistyvät yhdeksi paineviemäriksi Jyväskylätien kohdalla. Talousveden laskutustietojen (1 238 m³/d) ja Nammon virtaaman perusteella Leppäveden pumppaamon laskennallinen jätevesivirtaama (ilman vuotovesiä) oli vuonna 2014 keskimäärin 1 842 m³/d, josta Nammon osuus oli noin 604 m³/d (32,8 %, taulukko 4). Kuten aiemmin tekstissä mainittiin, siirtää Leppäveden pumppaamo samat vesimäärät kuin mitä Koivukorven pumppaamo. Toisin kuin Koivukorven pumppaamolla, Leppäveden pumppaamolla ei havaittu häiriöitä virtaamamittauksen osalta vuosien 2013–2014 aikana.



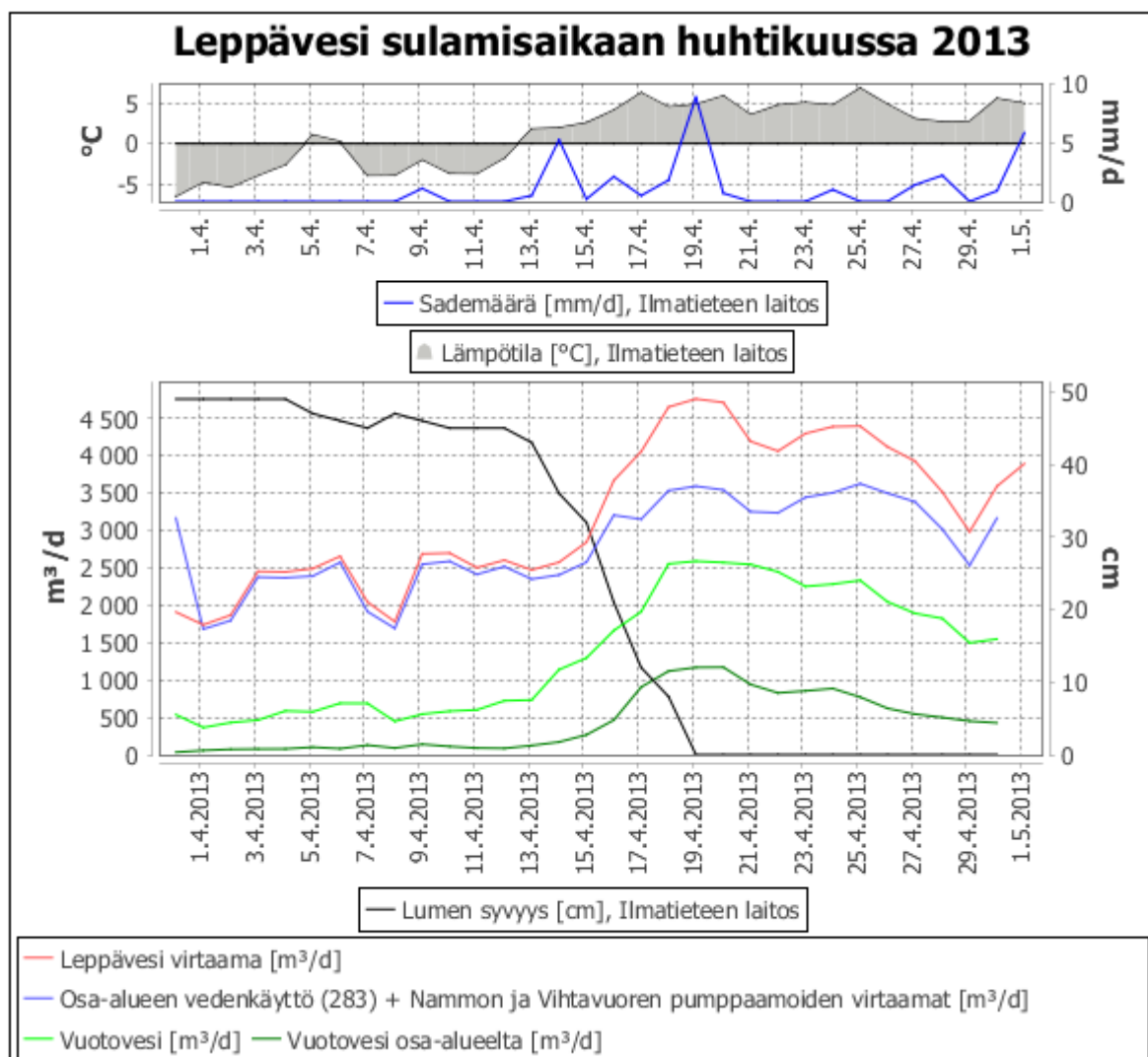
KUVA 15 Leppäveden pumppaamon osa-alue

Vuonna 2014 Leppäveden pumppaamon siirtämistä viemäriveresistä 687 m³/d (27,2 %) arvioitiin olevan vuotovettä (taulukko 4). Kuviossa 7 Leppäveden pumppaamon virtaama vuosina 2013–2014 on kuvattu punaisella viivalla seitsemän vuorokauden liukuvana keskiarvona. Kuviossa sinisellä on kuvattu Nammon ja Vihtavuoren pumppaamoiden virtaaman sekä Leppäveden osa-alueen (kuva 15) keskimääräisen vedenkäytön (283 m³/d) summa. Vuotoveden kertymä Leppäveden pumppaamon osa-alueelta on laskettu kaavan 5 mukaisesti vähentämällä Leppäveden virtaamasta Nammon ja Vihtavuoren pumppaamoiden virtaamat sekä Leppäveden osa-alueen keskimääräinen vedenkäyttö (283 m³/d). Osa-alueen vuotovesimäärä on merkitty kuvioon 7 tumman vihreällä viivalla. Vuonna 2014 vuotovettä kertyi Leppäveden pumppaamon osa-alueelta keskimäärin 115 m³/d (16,7 % koko tutkimusalueen vuotovesistä). Vuoden 2013 huhtikuussa noin 40 % vuotovesistä näyttää muodostuneen Leppäveden pumppaamon alueelta, jos virtaamatiedot pitävät paikkansa.



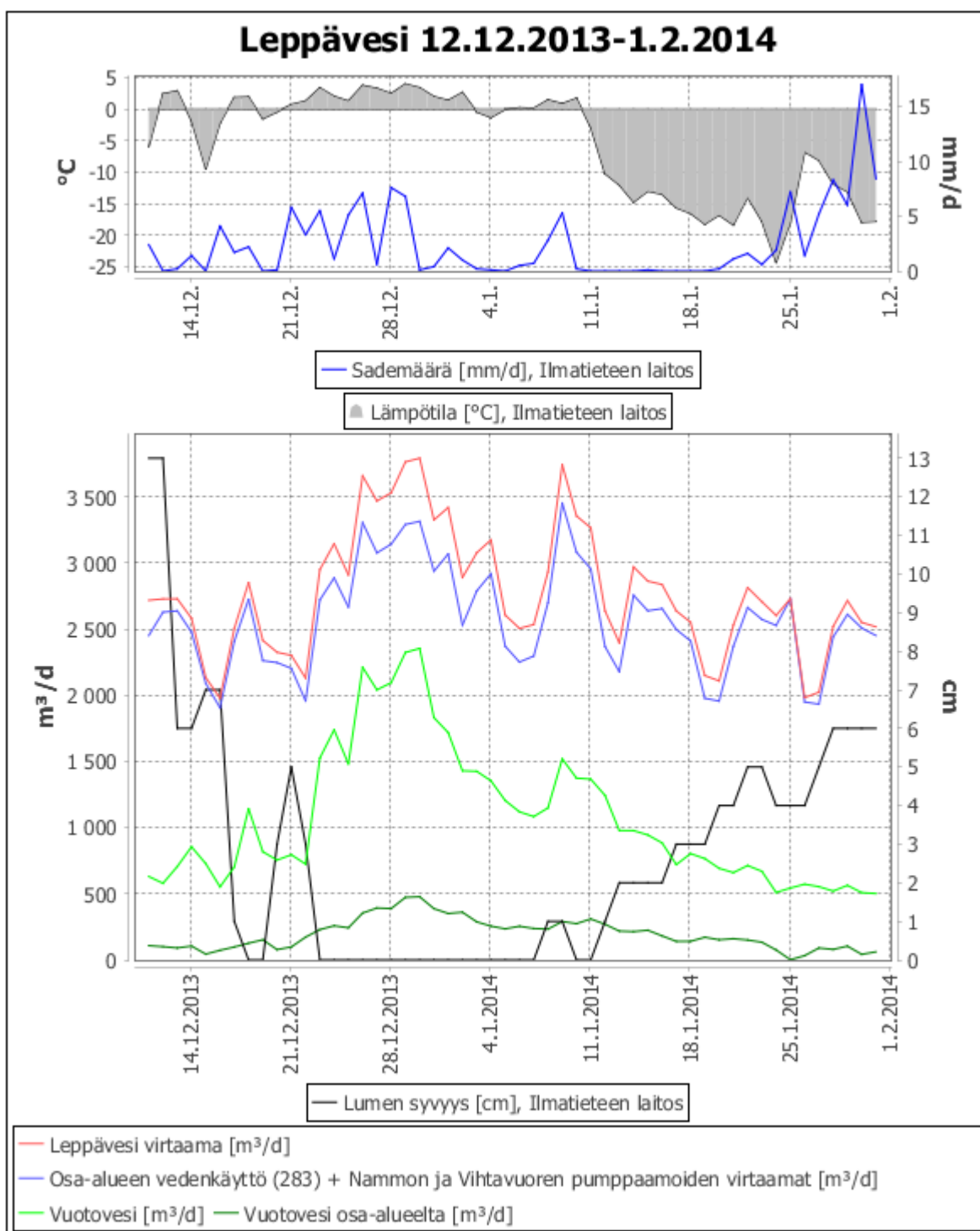
KUVIO 7 Leppäveden pumppaamon virtaamat, vuotovedet ja vuotoveden kertymä tältä osa-alueelta vuosina 2013–2014

Kuviossa 8 on esitetty Leppäveden pumppaamon virtaama ja vuotovedet sekä säähavainnot huhtikuun 2013 aikana. Ennen lumen sulamista Leppäveden pumppaamon virtaama (punainen viiva) vastasi hyvin osa-alueen keskimääräisen vedenkäytön ja yläpuolisten pumppaamoiden (Nammon ja Vihtavuoren) virtaaman summaa (sininen viiva). Lumen sulaessa Leppäveden pumppaamon virtaama kasvoi selkeästi tätä summa-arvoa suuremmaksi. Tästä syystä näyttäisi, että noin 40 % tämän aikajakson vuotovesistä muodostuisi juuri Leppäveden pumppaamon osa-alueelta. Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus voi kuitenkin olla arvioitua pienempi, koska Vihtavuoren pumppaamon virtaama rajoittui poikkeuksellisesti 2 500 m³/d tuntumaan aikajaksolla 15.–20.4.2013, edellisen (Kuhankosken) pumppaamon pumpatessa viemäriä yli 3 000 m³/d samalla aikajaksolla (kuvio 12). Vihtavuoren pumppaamon virtaaman rajoittuminen päättyi vasta Nammon pumppaamon virtaaman pudottua viikonlopun (21–22.4.2013) ajaksi. Vihtavuoren pumppaamon lähtövirtaama rajoittui osaltaan mahdollisesti paineviemärin kasvaneen virtausvastuksen vuoksi, Nammon pumppaamon pumpatessa yhtäaikaaisesti samaan viemäriin. On myös mahdollista, että Vihtavuoren pumppaamon virtaamalaskenta tai pumput ovat olleet kapasiteettinsa ääri rajoilla. Paineviemäri on voinut myös tulla Vihtavuoren pumppaamolla tai Vihtavuoren ja Kuhankosken pumppaamoiden välillä. Tämän vuoksi Leppäveden pumppaamon osa-alueen vuotovesilaskenta on mahdollisesti virheellinen aikajaksolla 15.–21.4.2013 (taulukko 4).



KUVIO 8 Leppäveden pumppaamon virtaama sulamisaikaan vuoden 2013 huhtikuussa

Mahdollisesta virheestä Vihtavuoren pumpppaamalla johtuen Leppäveden pumpppaamon virtaamaa tarkasteltiin myös toisena ajanjaksona. Joulukuun 2013 ja tammikuun 2014 vaihteessa vuotovesimäärät olivat Leppäveden pumpppaamalla hetkellisesti noin 2 400 m³/d, josta noin 500 m³ (21 %) arvioitiin muodostuneen Leppäveden pumpppaamon alueelta (kuva 15, kuvio 9). Suhdeluku 21 % vastanee 40 %:ia paremmin Leppäveden verkosto-osan todellista vuotovesitilannetta 15–21.4.2013 aikajaksolla. Pumpppaamoalueen laajuuden vuoksi Leppäveden taajama-alueella voitaisiin tehdä lisää virtaamamittauksia, jotta alueen vuotovesistä saataisiin tarkempi käsitys. Lisäksi vuotovesiselvitykseen voitaisiin ottaa tarkasteluun myös pienemmät pumpppaamot Jyväskylätien itäpuolelta (kuva 15)



KUVIO 9 Leppäveden pumpppaamon virtaama ja vuotovedet vuosien 2013 ja 2014 vaihteessa

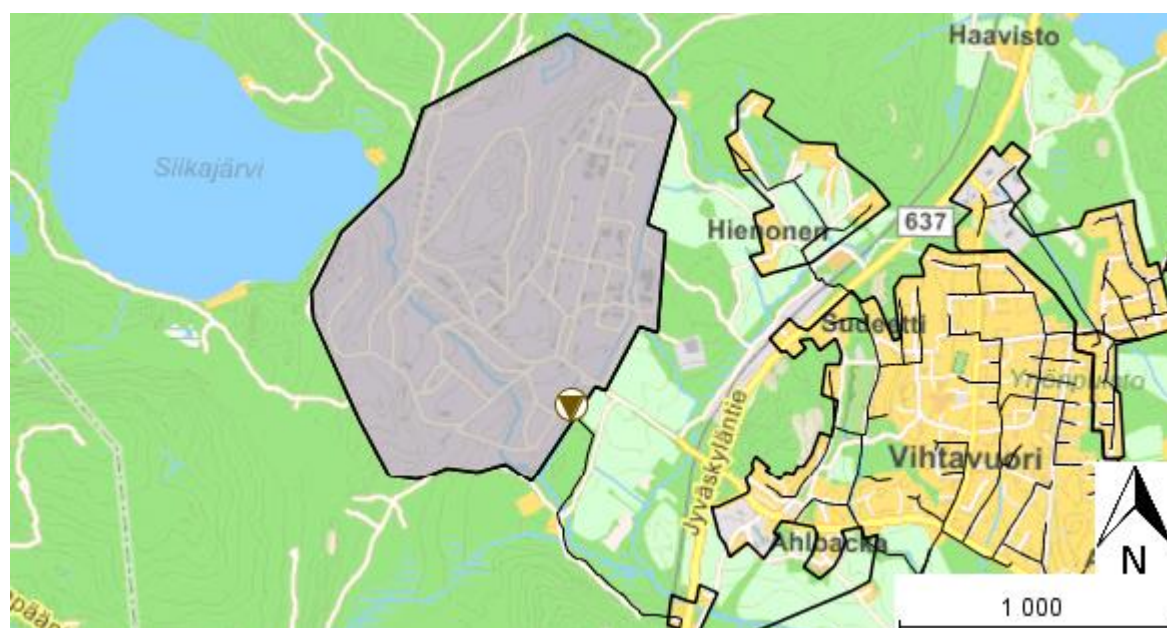
5.3 Nammo

TAULUKKO 5 Nammon pumppaamon virtaamat

Pumppaamo: Verkoston pituus:	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	564	568	604	741	779

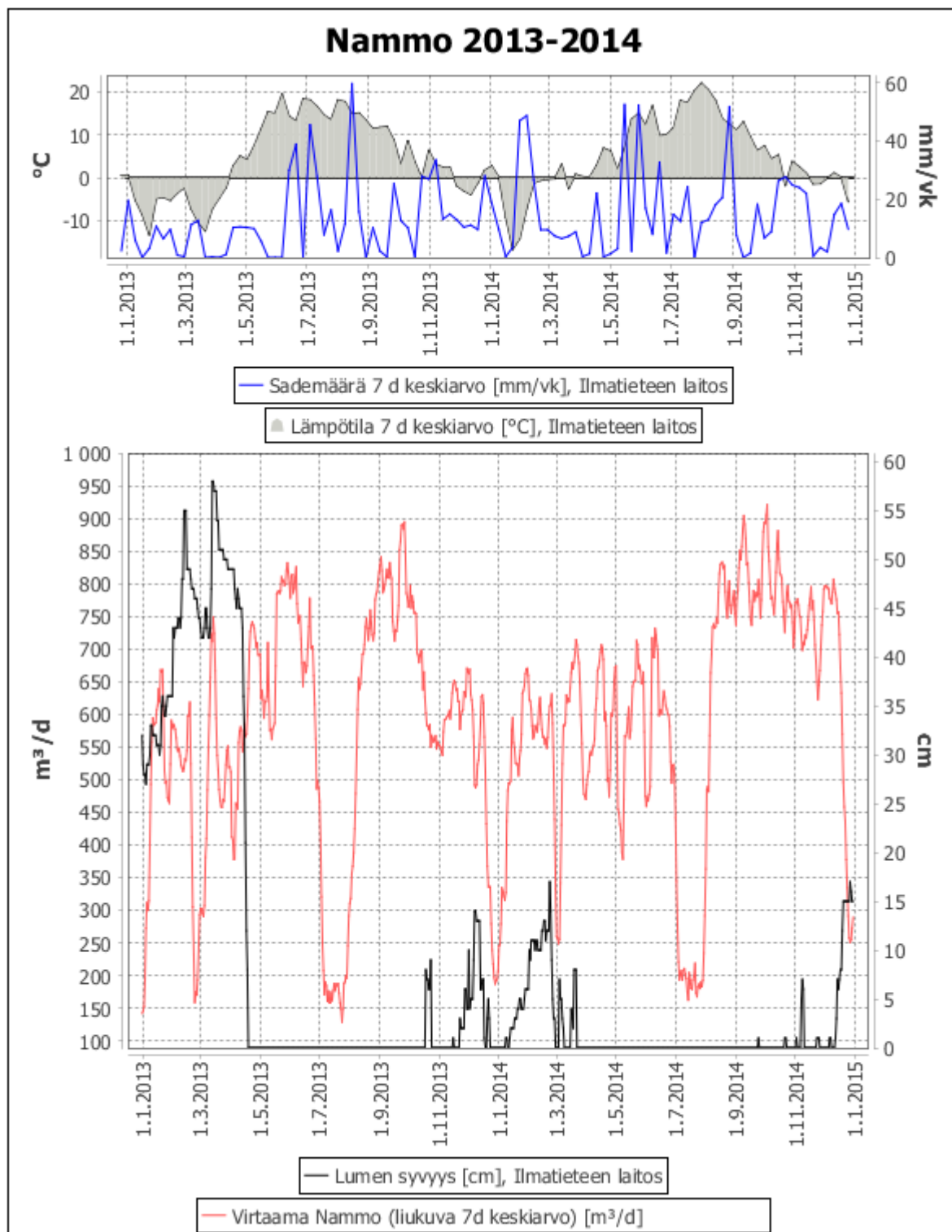
Nammon pumppaamo siirtää pääasiallisesti Vihtavuoren räjähdetehtaan alueelta muodostuvia jätevesiä kohti Leppäveden pumppaamaa (kuva 16). Nammon ja Vihtavuoren pumppaamoiden paineviemärit yhdistyvät Jyväskylätien kohdalla yhdeksi paineviemäriksi. Molempien pumppaamoiden yhtäaikainen käynti voi vaikuttaa pumppaamoiden pumppujen tuottoihin vähentävästi virtausvastuksen kasvaessa yhdistyneessä paineviemärissä. Nammon pumppaamon keskimääräinen talousvedenkäyttö on laskutustietojen mukaan alle 1 m³/d, ja oletettavasti tehdasalue ottaa prosessivetensä talusvesiverkoston ulkopuolelta, mahdollisesti Siikajärvestä. Alueen vedenkäyttö laskutetaan pumppaamon siirtämän viemärivereden perusteella ja siten alueelta muodostuneista vuotovesistä ei koidu kustannuksia Laukaan kunnalle. Nammon osalta tässä työssä ei keskitytä alueelta muodostuviin vuotovesiin, mutta alueelta pumpattu viemäriveresi vaikuttaa osaltaan Vihtavuoren pumppaamon virtaamiin.

Tehdasalueelta muodostuvat jätevesimäärät vaihtelevat voimakkaasti tehtaan toimintojen mukaan, minkä vuoksi Nammon pumppaamon vuotovesimääriä on vaikea arvioida. Esimerkiksi taulukon 5 tietojen mukaan pumppaamolta lähtevä virtaama on jopa suurempi kuivana ajanjaksona, kuin lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013. Pumppaamon virtaamissa näkyvät arkipäivien ja viikonloppujen välinen vaihtelu. Viikonloppuisin alueelta muodostuu huomattavasti vähemmän jätevetä. Heinäkuisin pumppaamon virtaamat ovat vähäisiä normaaliin verrattuna, mikä johtunee tehtaalla pidettävistä lomajaksoista.



KUVA 16 Nammon pumppaamon arvioitu osa-alue

Nammon pumppaamon virtaamat ja lumen syvyyden tiedot vuosina 2013–2014 on esitetty kuviossa 10. Virtaama vaihtelee suuresti ja lumen sulamisen tai sateen vaikutusta virtaamaan on hankala arvioida. Mikäli alueen vuotovesimääriä halutaan tutkia tulevaisuudessa, se voisi tapahtua esimerkiksi vertaamalla tehdasalueelle (järvestä) pumpattuja vesimääriä jätevedenpumppaamon lähtövirtaamiin.



KUVIO 10 Nammon pumppaamon virtaama ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

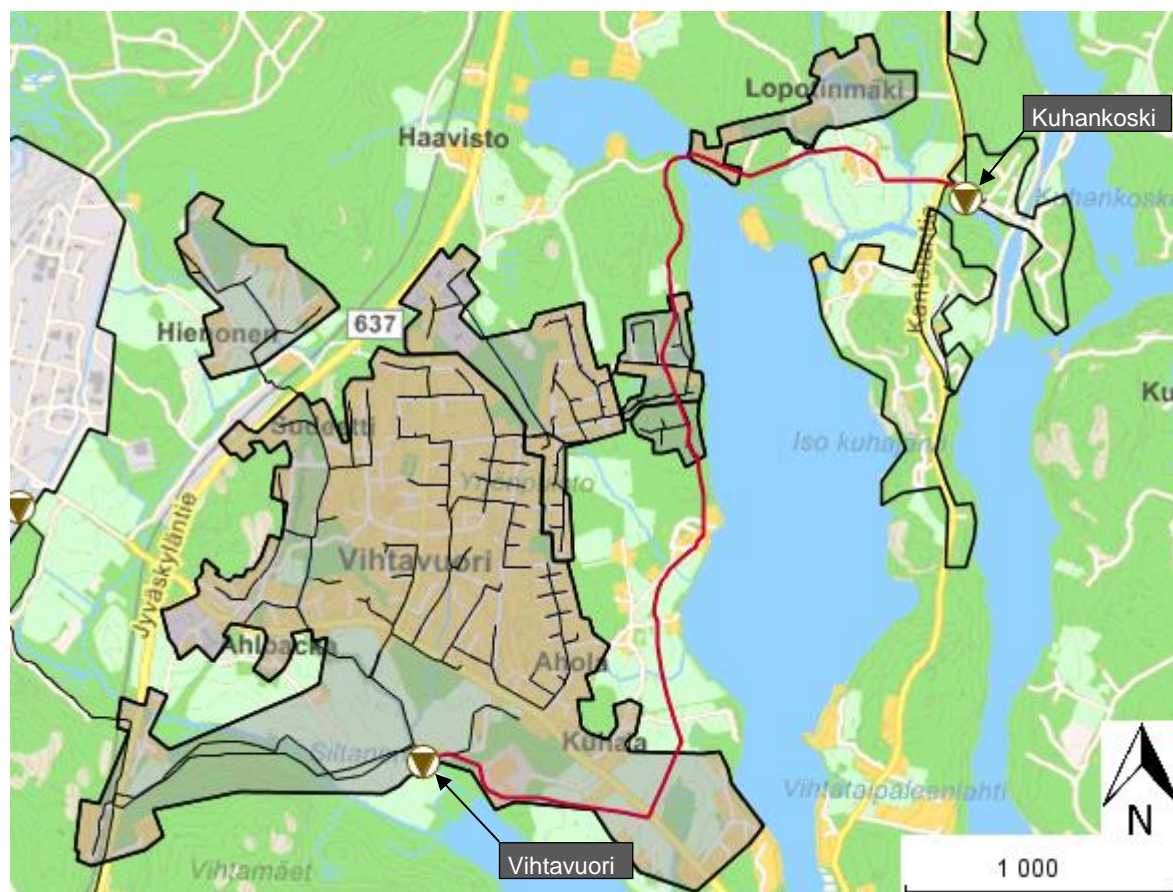
5.4 Vihtavuori

TAULUKKO 6 Virtaamat ja vuotovedet Vihtavuoren pumpaamolla

Pumppaamo: Vihtavuori Verkoston pituus: 86,1 km	Yks.	Vuositain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	1 723	1 555	1 528	2 315	1 222
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	955	955	955	955	955
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	768	600	573	1 360	267
prosentti	%	44,6	38,6	37,5	58,7	21,9
johto-osuudella	l/s/km	0,10	0,08	0,08	0,18	0,04
pumppaamon alueelta	m ³ /d	219	179*	184	-470	60
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	28,5	25,9*	32,1	-34,5	22,3

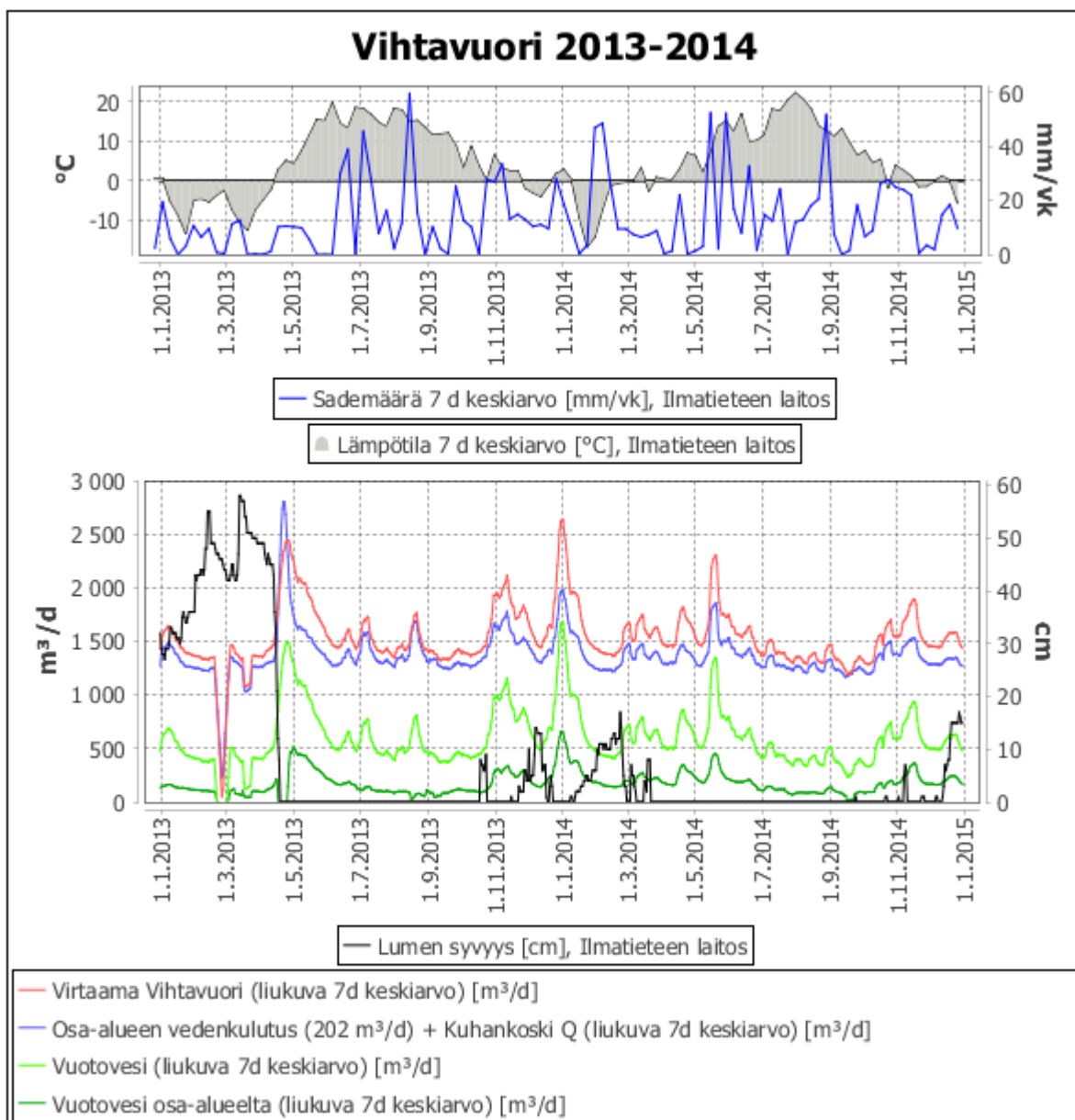
*Aikajakso 1.4.2013 - 31.12.2013.

Vihtavuoren pumppaamo siirtää pääasiassa Vihtavuoren taajama-alueelta muodostuvia ja Kuhankosken pumppaamon siirtämiä viemärivesiä. Vihtavuoren osa-alue on nähtävillä kuvassa 17. Vihtavuoren pumppaamon lähtövirtaamiin vaikuttaa myös Nammon pumppaamon virtaamat, koska pumppaamot syöttävät samaan viemäriin. Laskutustietojen perusteella Vihtavuoren pumppaamon valuma-alueen jätevesivirtaama on keskimäärin 955 m³/d (taulukko 6). Jätevedestä 202 m³/d:n osuus muodostuu Vihtavuoren pumppaamon osa-alueelta.



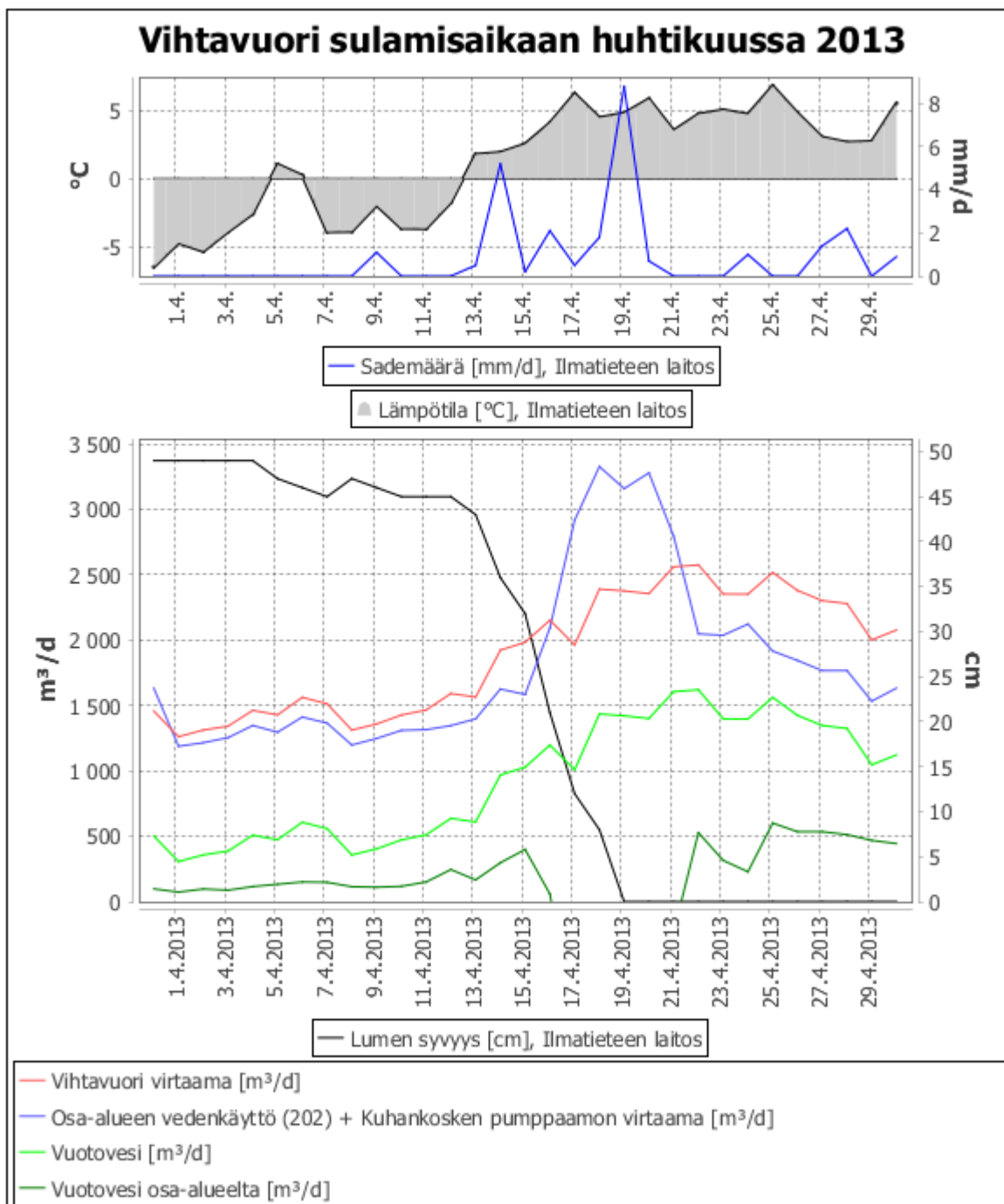
KUVA 17 Vihtavuoren pumppaamon osa-alue

Kuviossa 11 on nähtävissä Vihtavuoren pumpptaamon virtaama vuosina 2013–2014 (punainen viiva). Huhtikuun 2013 lumen sulamisen aikajaksolla Vihtavuorta edeltäneen pumpptaamon (Kuhankoski) virtaaman ja Vihtavuoren osa-alueen (kuva 17) keskimääräisen vedenkäytön summa (sininen viiva) ylittää Vihtavuoren pumpptaamon lähtövirtaaman, mahdollisesti Vihtavuoren pumpptaamon virtaam tiedon virheen vuoksi. Tämä vaikuttaa myös taulukossa 6 nähtäviin vuoden 2013 arvoihin. Vuotovesistä Vihtavuoren pumpptaamon osa-alueelta (tumman vihreä viiva) näyttäisi muodostuvan vaihtelevia määriä ympäri vuoden. Vuonna 2014 Vihtavuoren pumpptaamon valuma-alueelta muodostui vuotovesistä keskimäärin $573 \text{ m}^3/\text{d}$, josta tältä osa-alueelta arvioitiin muodostuneen $184 \text{ m}^3/\text{d}$ (32,1 %) vuotovesistä (taulukko 6). Koko tutkimusalueen vuotovesistä (keskimäärin $687 \text{ m}^3/\text{d}$) Vihtavuoren osa-alueelta muodostui noin 27 % vuonna 2014. Vuoden 2013 heinäkuussa ja elokuussa mitatut, noin $700 \text{ m}^3/\text{d}$ suuruiset sadannasta johtuvat vuotovesipiikit, eivät näytä muodostuneen Vihtavuoren pumpptaamon osa-alueelta.



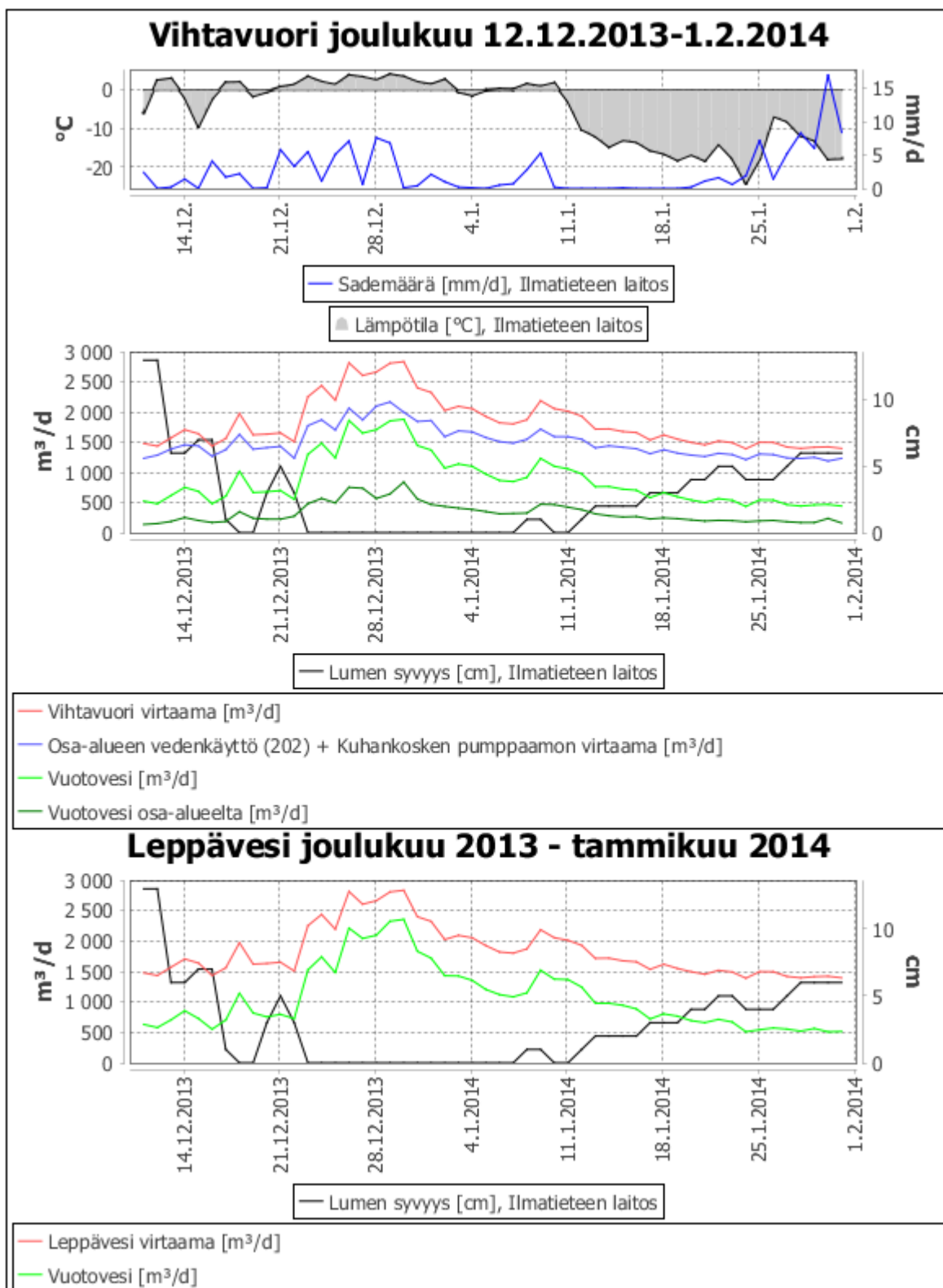
KUVIO 11 Vihtavuoren pumpptaamon virtaama ja vuotovedet vuosina 2013–2014

Kuviossa 12 on esitetty Vihtavuoren pumppaamon virtaaman poikkeama huhtikuun 2013 aikana. 15.–22.4.2013 välisenä aikajaksona Vihtavuoren pumppaamon virtaama ei kasva Kuhankosken pumppaamon virtaaman tapaan. Virhe vaikuttaa vuotovesien ja osa-alueen vuotovesien tuloksiin myös taulukossa 6. Koska virtaama on todennäköisesti virheellinen huhtikuun 2013 aikana, tarkastellaan Vihtavuoren pumppaamon virtaamia vielä tammikuun 2014 osalta.



KUVIO 12 Vihtavuoren pumppaamon virtaamat lumen sulamisaikaan huhtikuussa 2013. Vihtavuoren pumppaamon virtaama ei kasva Kuhankosken pumppaamon virtaaman mukaisesti.

Vihtavuoren pumppaamon virtaama ja vuotovedet vuosien 2013 ja 2014 vaihteessa on nähtävissä kuviossa 13. Aikajaksolla 12.12.2013–1.2.2014 välisenä vuotovedet Vihtavuoren pumppaamolla olivat hetkellisesti noin 1 800 m³/d. Tästä vuotovedestä noin 700 m³ (39 %) arvioitiin muodostuneen Vihtavuoren pumppaamon alueelta, jos pumppaamoiden virtaamatiedot pitävät paikkansa. Koko tutkimusalueen vuotovesistä vastaava osuus olisi noin 29 %, jos Leppäveden pumppaamon vuotovesipiikin arvioidaan olleen 2 400 m³/d:n suuruinen samana aikajaksena (kuvio 13).



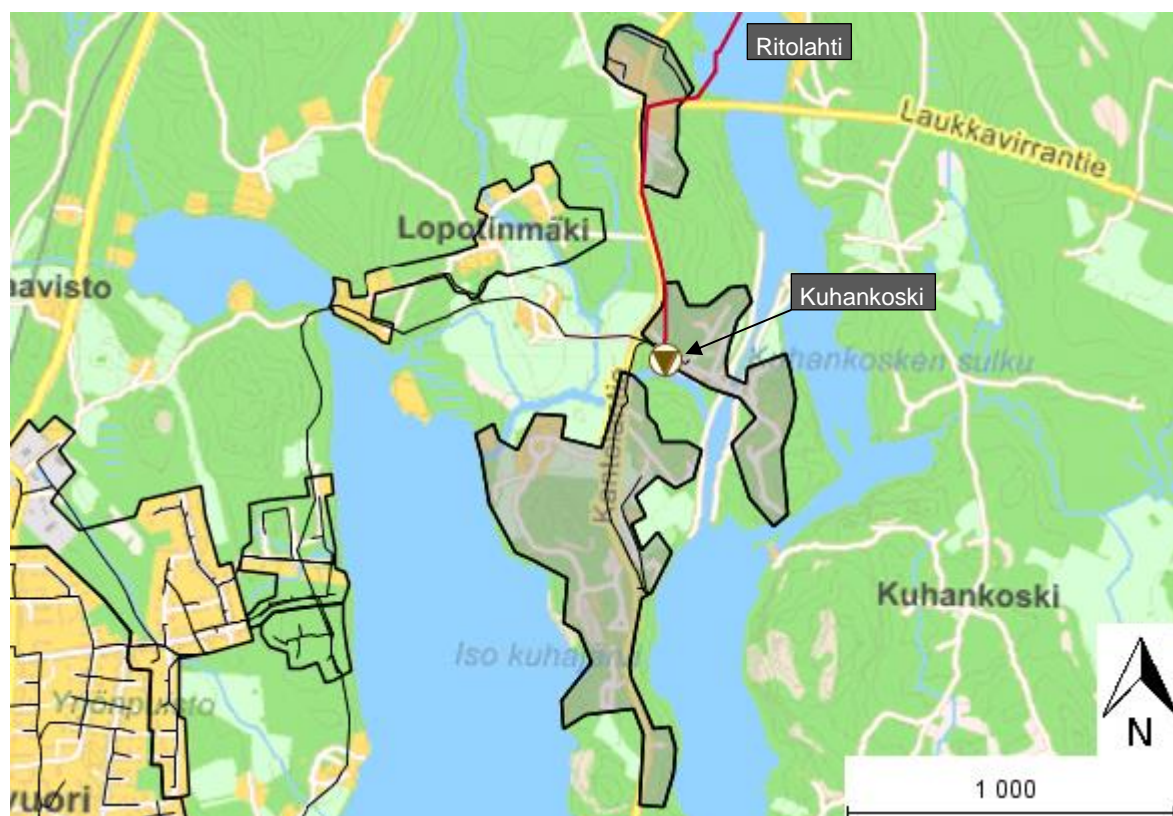
KUVIO 13 Vihtavuoren ja Leppäveden pumppaamon virtaamat ja vuotovedet vuosien 2013–2014 vaihteessa

5.5 Kuhankoski

TAULUKKO 7 Virtaamat ja vuotovedet Kuhankosken pumpaamolla. Osa-alueen vuotovesilaskentaan sisältyy virheitä, koska Ritolahden pumpaamolla ei ole virtaamamittausta.

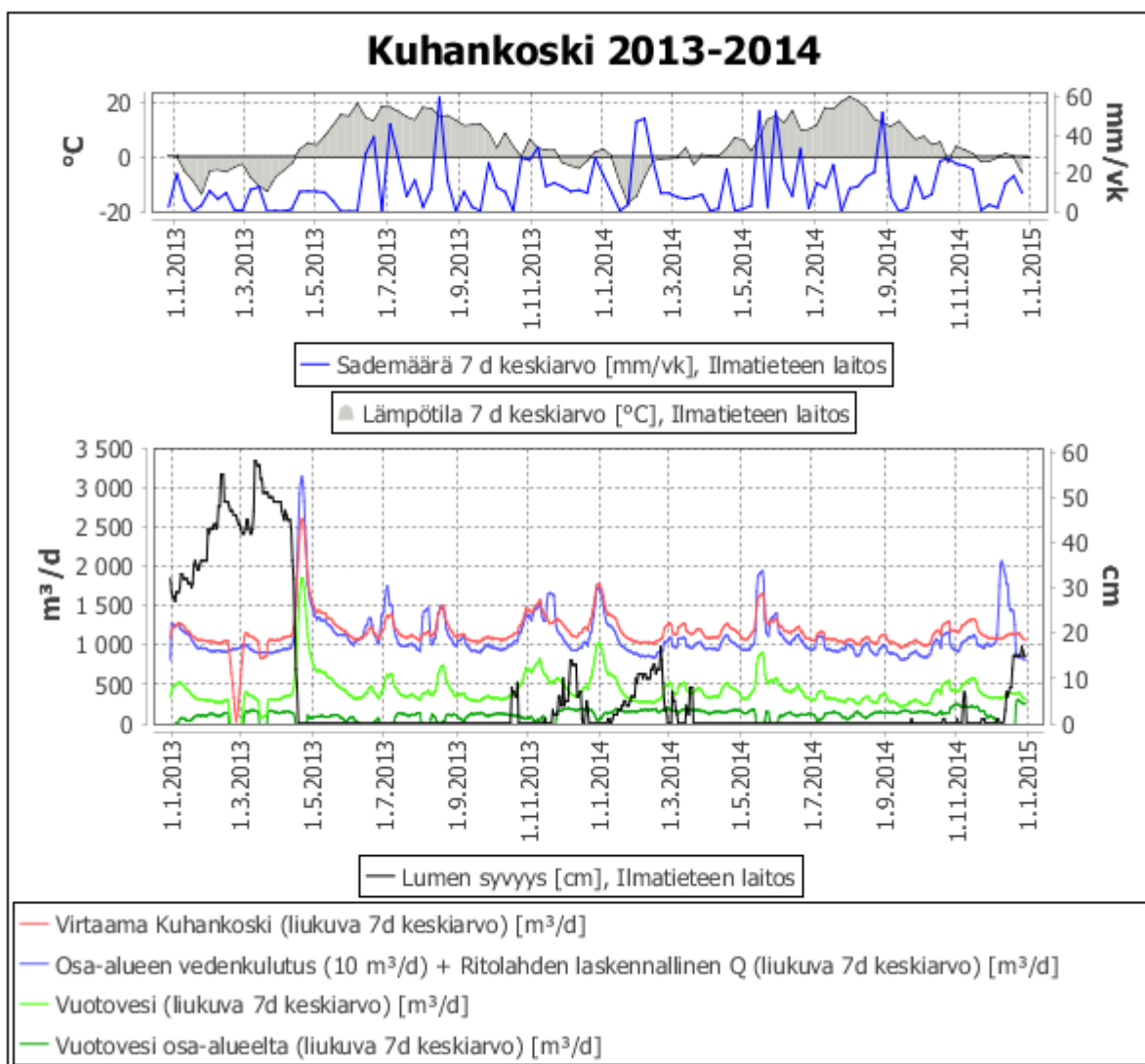
Pumppaamo: Kuhankoski Verkoston pituus: 60,3 km	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	1 303	1 197	1 142	2 583	961
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	753	753	753	753	753
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	550	444	389	1 830	208
prosentti	%	42,2	37,1	34,1	70,8	21,6
johto-osuudella	l/s/km	0,11	0,09	0,07	0,35	0,04
pumppaamon alueelta	m ³ /d	72	38	108	-533	148
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	28,5	25,9	32,1	-34,5	22,3

Kuhankosken pumppaamo on vanhan jätevedenpuhdistamon yhteydessä ja puhdistamoaltaita mahdollisesti käytetään virtaamien tasaamiseen tulvatilanteissa. Tästä syystä Kuhankosken pumppaamo voi reagoida viiveellä Ritolahden pumppaamon lähtövirtaamiin. Kuhankosken pumppaamo siirtää lähinnä Ritolahden pumppaamon viemäriveresiä kohti Vihtavuoren pumppaamoa, koska vedenkäyttö Kuhankosken pumppaamon osa-alueella (kuva 18) on laskutustietojen mukaan vähäistä (keskimäärin 10 m³/d). Kuhankosken ja Ritolahden pumppaamoiden välissä paineviemäri tekee vesistöналituksen. Kuhankosken pumppaamon virtaamat ja vuotovedet on esitetty taulukossa 7. Pumppaamon keskimääräinen virtaama vuonna 2014 oli 1 142 m³/d, josta jätevetttä oli laskutustietojen perusteella keskimäärin 753 m³/d.



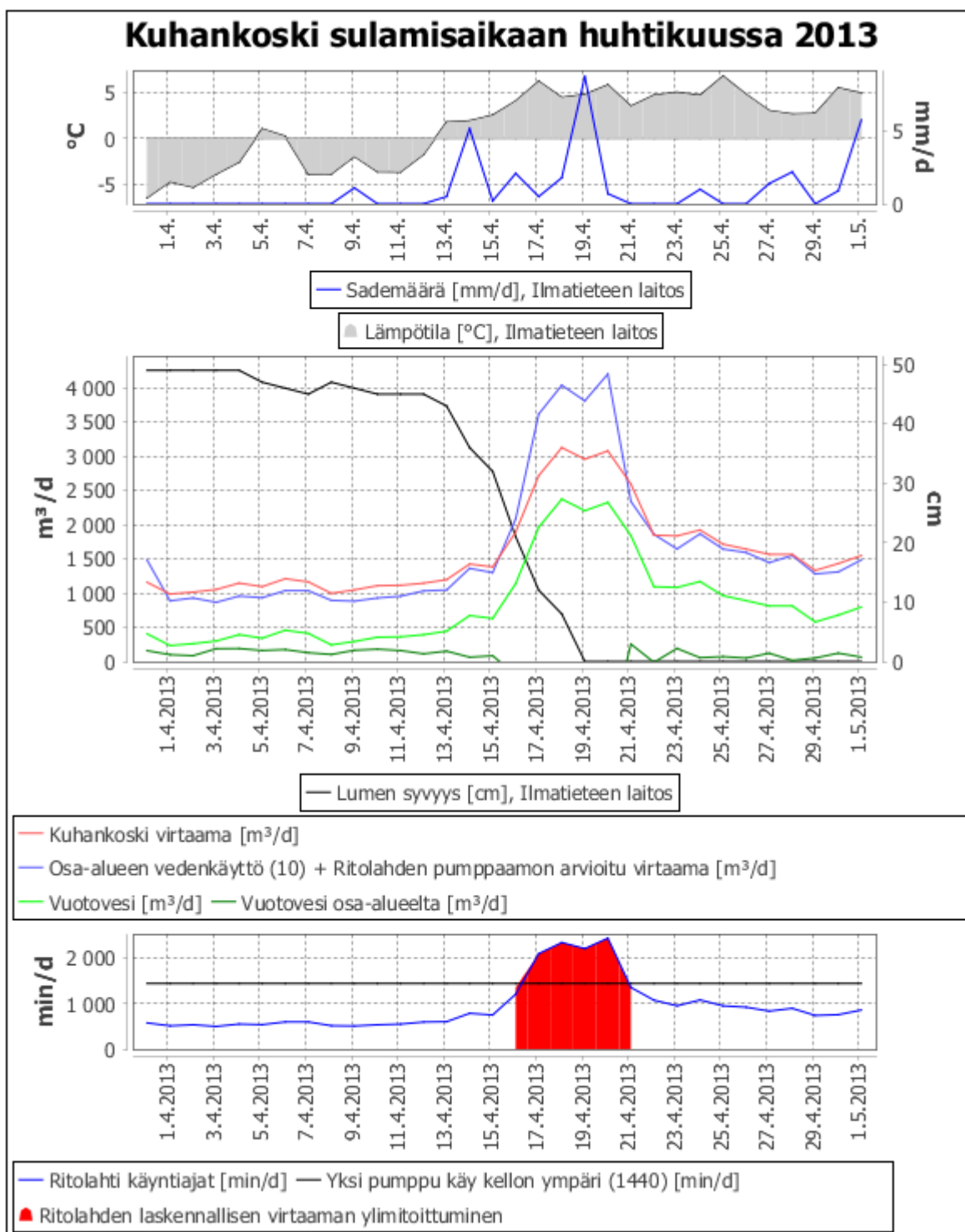
KUVA 18 Kuhankosken pumppaamon osa-alue

Vuonna 2014 Kuhankosken pumppaamon siirtämistä vesistä (1 142 m³/d) noin 389 m³/d (34,1 %) arvioitiin olevan vuotovettä. Kuviossa 14 on esitetty Kuhankosken pumppaamon virtaaman ja vuotovesien vaihtelut sekä Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosien 2013–2014 ajalta. Vuotovedet näkyvät kasvaneina pumppaamon virtaamina lumen sulamisen ja rankkasateiden aikaan. Vuonna 2014 vuotovesimäärä Kuhankosken pumppaamon valuma-alueelta oli keskimäärin 389 m³/d, jonka osuus koko tutkimusalueen vuotovesistä (687 m³/d) oli noin 56 %. Aikajaksolla 15.–21.4.2013 vuotovesimäärä Kuhankosken pumppaamon valuma-alueelta oli keskimäärin 1 830 m³/d, jonka osuus koko tutkimusalueen vuotovesistä kyseisellä aikajaksolla (2 290 m³/d) olisi noin 80 %. On kuitenkin huomioitava, että koko tutkimusalueen viemäriveresiä siirtävän Leppäveden pumppaamon virtaamat olivat koholla vielä tarkastelujakson jälkeenkin (29.4.2013 asti, kuvio 8), Kuhankosken pumppaamon virtaamien ollessa jo laskusuunnassa 21.4.2013. Kuvioon 14 sinisellä viivalla on kuvattu Ritolahden pumppaamon laskennallinen virtaama (Ritolahden pumppaamolla ei mitattua virtaamadataa), johon on lisätty Kuhankosken pumppaamon osa-alueen keskimääräinen vedenkulutus 10 m³/d. Ritolahden pumppaamon laskennallinen virtaama ylimitoituu tilanteissa, joissa pumppaamon kaksi tai useampi pumppu käyvät yhtä aikaa. Tästä syystä vuosina 2013–2014 Ritolahden pumppaamon virtaamat näyttäisi ylittävän Kuhankosken pumppaamon virtaamat useaan otteeseen vuosien 2013–2014 aikana, vaikka näin ei todellisuudessa luultavasti ole.



KUVIO 14 Kuhankosken pumppaamon virtaama ja vuotovedet vuosina 2013–2014

Koska Ritolahden pumppaamolta ei ollut saatavissa virtaamadataa, arvioitiin virtaama laskennallisesti kaavan 1 avulla. Kaavassa käytettiin pumpun tuottona 103,32 m³/h (28,7 l/s), jonka arvioitiin vastanneen Ritolahden pumppaamon yksittäisen Grundfos -pumppun tuottoa. Virhettä esiintyy aikoina, jolloin pumput ovat käynnissä yhtä aikaa, esimerkiksi vuoden 2013 huhtikuussa (kuvio 15). Virheen vuoksi vuotovesi osa-alueelta -arvot (tumman vihreä viiva) muuttuvat negatiivisiksi ajalla 15.–21.4.2013. Virtaamatietojen puuttumisen vuoksi absoluuttisten vuotovesimäärien muodostumista on vaikea arvioida Kuhankosken valuma-alueen pumppaamoissa (yhteensä 12 kpl).



KUVIO 15 Kuhankosken pumppaamon virtaamat huhtikuussa 2013. Ritolahden pumppaamon laskennallinen virtaama ylityttiin pumppujen yhtäaikaisen käynnin seurauksena erityisesti aikajaksolla 16.–21.4.2013.

5.6 Ritolahti

TAULUKKO 8 Ritolahden pumpaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Ritolahti Verkoston pituus: 54,9 km Pumpun tuotto: 1,72 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	1 221	1 150	1 024	3 106	803
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	743	743	743	743	743
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	478	407	281	2 363	60
prosentti	%	39,2	35,4	27,4	76,1	7,5
johto-osuudella	l/s/km	0,10	0,09	0,06	0,50	0,01
pumppaamon alueelta	m ³ /d	136	189	107**	1 168	21
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	28,5	46,4	41,2**	49,4	35,8
Käyntiaika keskimäärin	min/d	709	668	668	1 804	468

*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona.

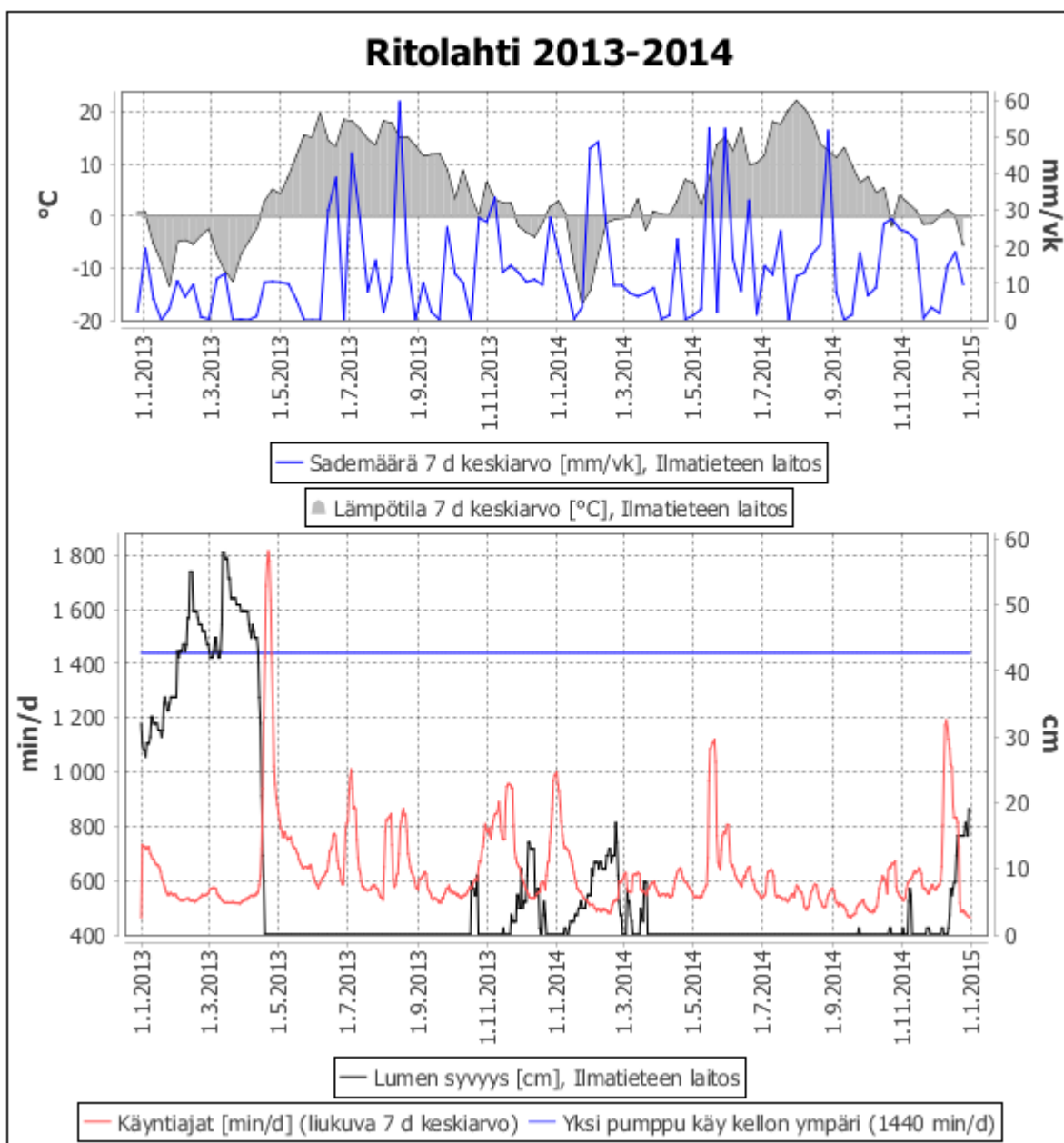
** Vuoden 2014 osalta laskennasta jätetty pois aikajakso 1.10-31.12.2014

Tässä vuotovesiselityksessä Ritolahden pumppaamolle päätyy osa-alueen viemäriveresien lisäksi viiden eri pumppaamon viemäriveredet (kuva 19). Ritolahden pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus on 743 m³/d, josta 136 m³/d on Ritolahden pumppaamon osa-alueelta (taulukko 8). Ritolahden pumppaamosta ja sen yläpuolisista pumppaamoista ei ollut saatavilla virtaamatietoa, mutta käyntiaikojen perusteella voidaan tarkastella mitkä pumppaamot reagoivat lumen sulamiseen tai rankkasateisiin. Ritolahden valuma-alueen pumppaamoiden virtaamat arvioitiin laskennallisesti pumpun käyntiajan ja tuoton tulona (kaava 1). Ritolahden pumppaamon yksittäisen pumpun tuoton tiedettiin olevan suuruusluokkaa 1,72 m³/d. Jos tuotto oltaisiin arvioitu kaavan 2 avulla, olisi sen suuruus ollut 1,59 m³/min.



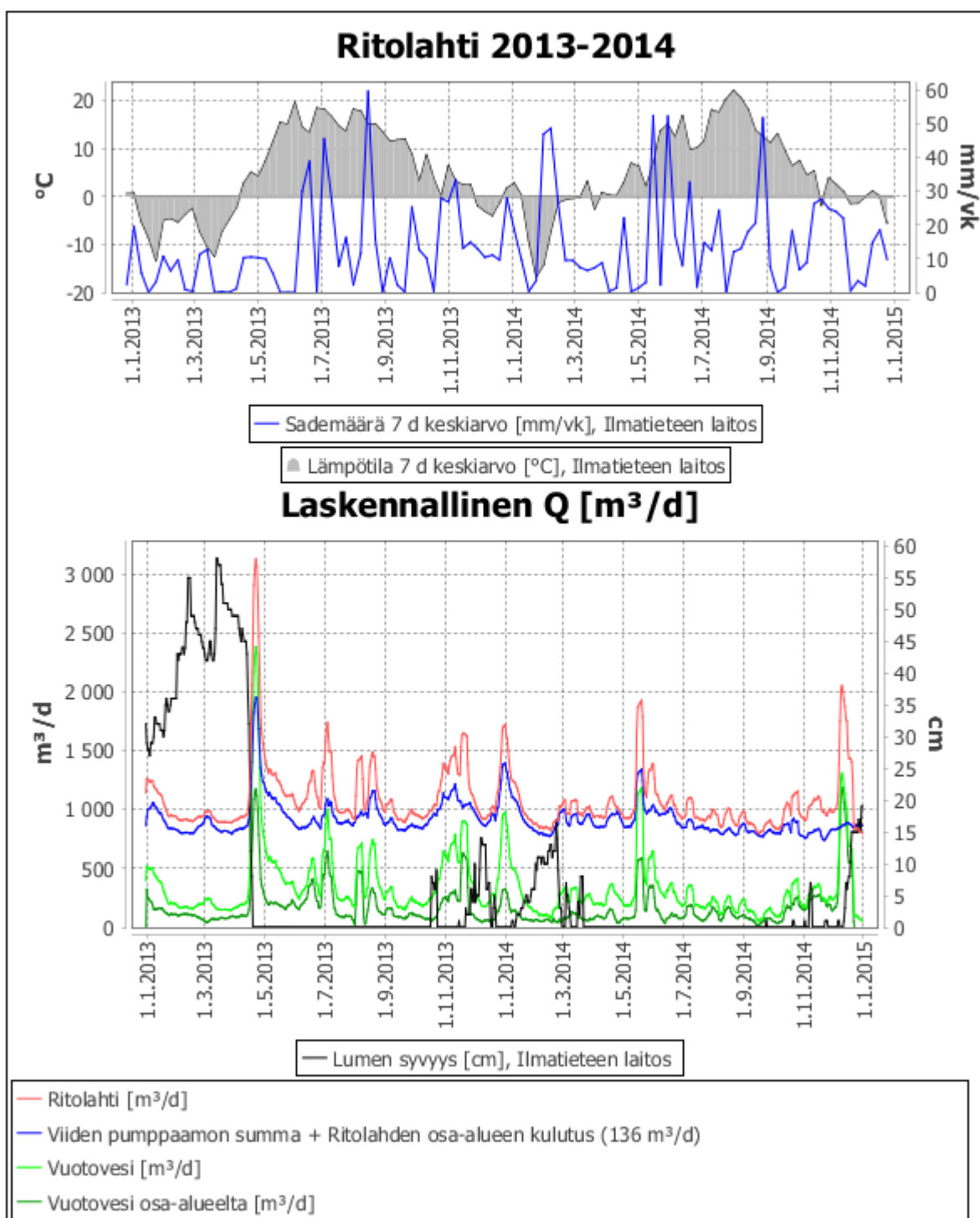
KUVA 19 Ritolahden pumppaamon osa-alue

Ritolahden pumppaamon käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014 on nähtävissä kuviossa 16. Käyntiajat ovat suurimmillaan lumen sulaessa tai rankkasateiden aikaan. Huhtikuussa 2013 käyntiajat ovat yli 1 440 min/d, joka tarkoittaa, että pumppujen yhtäaikaista käyntiä on varmuudella tapahtunut. Koska kuvion käyntiajat ovat liukuvia keskiarvoja viikon ajalta, on hyvin todennäköistä, että pumppujen yhtäaikaista käyntiä on tapahtunut myös muina ajanjaksoina. Pumppujen käyntiajoissa ei esiinny useita vuorokausia kestäviä virhejaksoja, joissa käyntiajat putoaisivat nolnaan. Vuoden 2014 maaliskuussa aikaan tapahtunut, yli 15 cm korkuisen lumikerroksen sulaminen ei vaikuttanut pumppaamon käyntiaikoihin samalla voimakkuudella, kuin esimerkiksi joulukuun 2013 lumen sulaminen. Eroavaisuus voi johtua tammi- ja helmikuun pakkasjaksosta, jolloin viikon keskilämpötila putosi alle $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:een, mahdollistaen vettä pidättävän routakerroksen muodostumisen. Vuosina 2013 ja 2014 Ritolahden pumppaamon käyntiajat olivat molempina vuosina keskimäärin 668 min/d, joka on vähintään kaksinkertainen verrattuna Ritolahden viiteen yläpuoliseen pumppaamoon, joiden keskimääräiset käyntiajat vaihtelivat 82–314 min/d:n välillä.



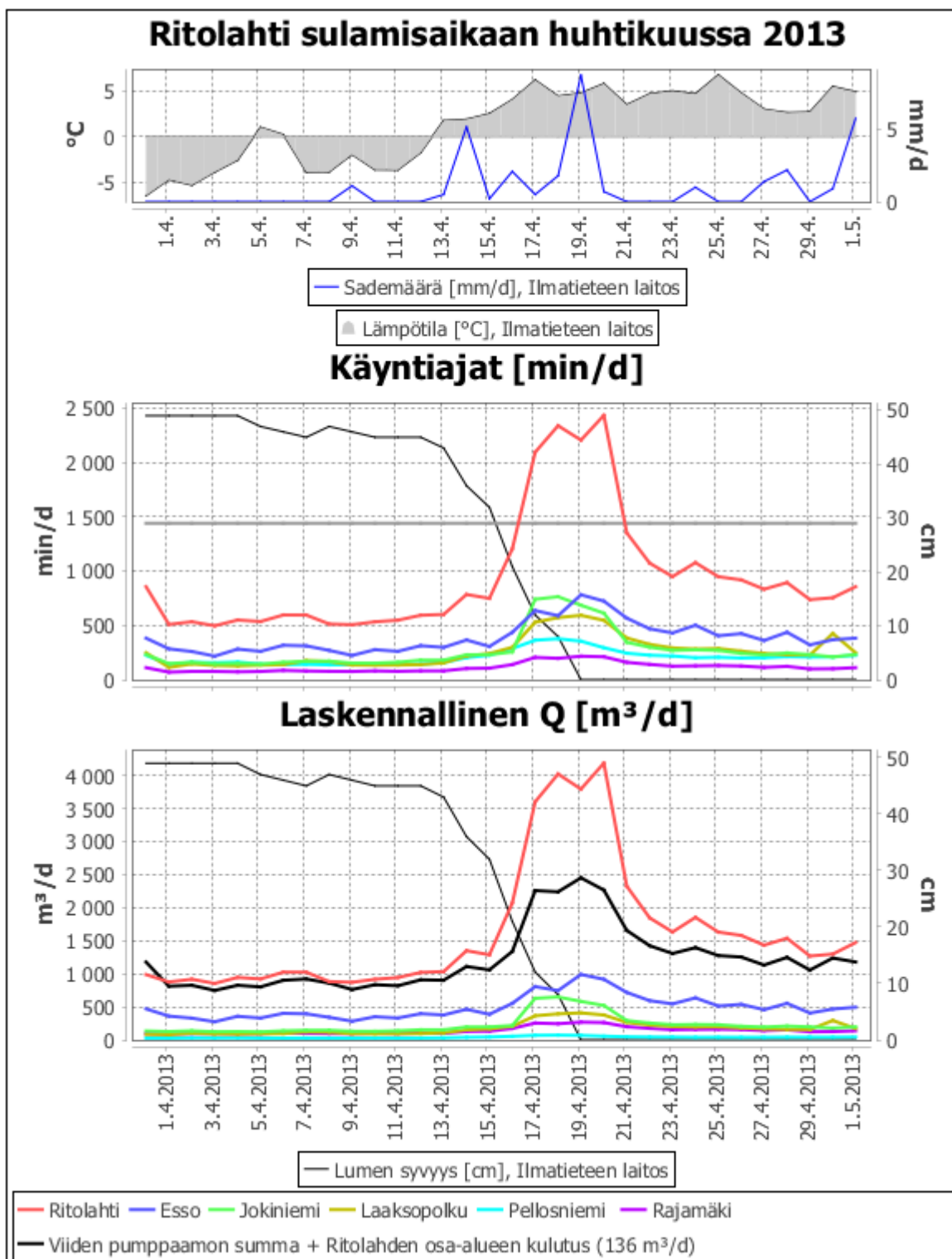
KUVIO 16 Ritolahden pumppaamon käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot 2013–2014

Kuviossa 17 on esitetty Ritolahden pumpptaamon laskennalliset virtaamat punaisella viivalla vuosina 2013–2014. Verrattuna yläpuolisten pumpptaamoiden laskennallisten virtaamien ja Ritolahden osa-alueen vedenkulutuksen summaan (sininen viiva), ovat Ritolahden pumpptaamon virtaamat hieman summa-arvoa suuremmat. Viivojen välille jäävä alue koostuu Ritolahden pumpptaamon osa-alueen vuotovesistä (tumman vihreä viiva). Kaavan 1 avulla arvioituna, vuonna 2014 Ritolahden pumpptaamon osa-alueelta muodostui keskimäärin $107 \text{ m}^3/\text{d}$ vuotovettä, mikä olisi 41,2 % Ritolahden pumpptaamon valuma-alueen vuotovesistä. Osa-alueen vuotovesilaskenta kuitenkin on suuresti ylimitoitunut Ritolahden pumpptujen yhtäaikaisten käynnin vuoksi. Vaikka Ritolahden pumpptaamon käyntiajat olivat vuosina 2013–2014 samat, poikkesivat laskennalliset virtaamat toisistaan (taulukko 8).



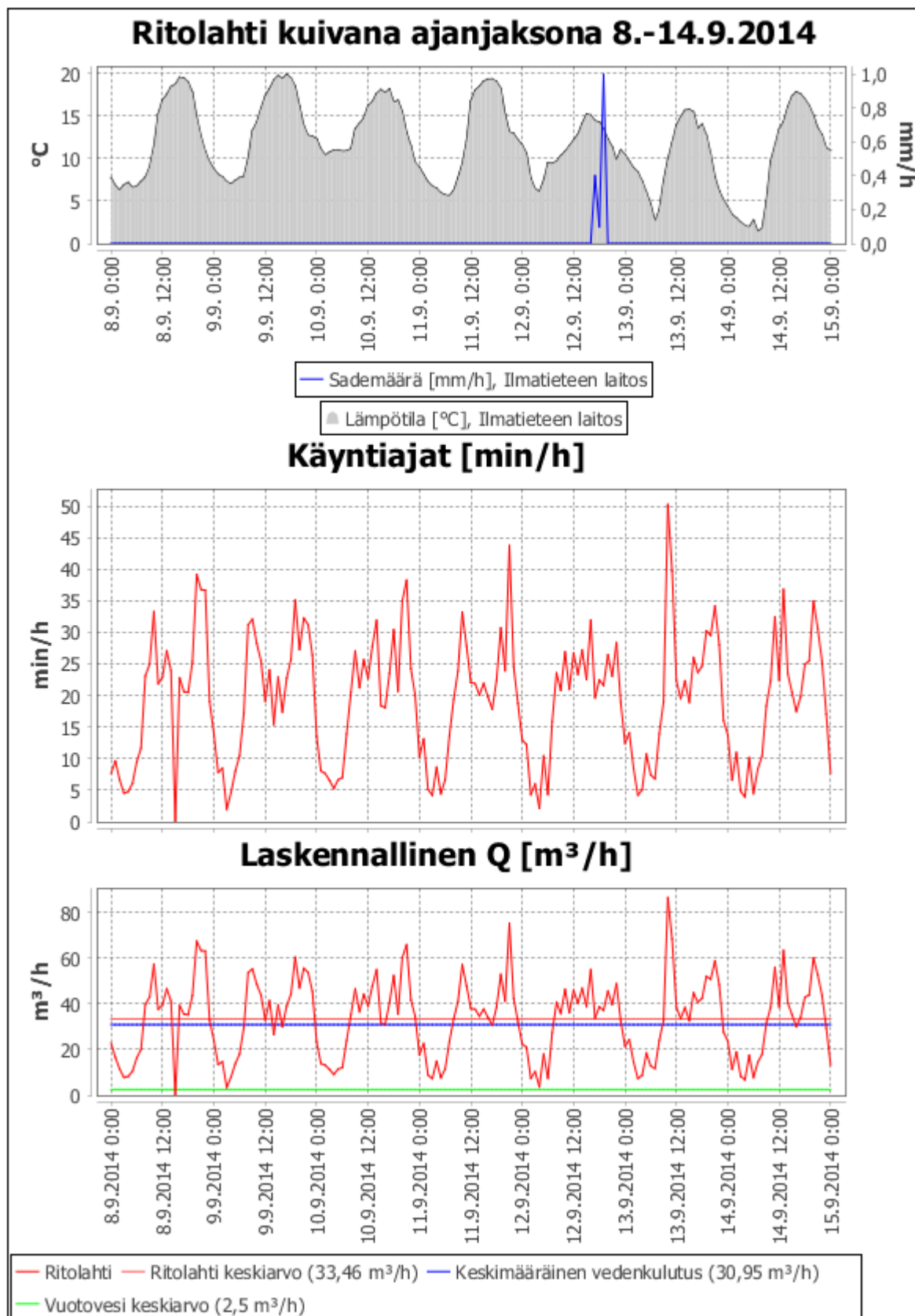
KUVIO 17 Ritolahden pumpptaamon laskennallinen virtaama ja vuotovedet vuosina 2013–2014

Kuviossa 18 on eritelty Ritolahden- ja Ritolahtea edeltävien viiden pumppaamon käyntiajat ja laskennalliset virtaamat lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013. Vuotovedet vaikuttavat voimakkaimmin Ritolahden pumppaamon käyntiaikoihin. On vaikea arvioida muodostuuko vuotovettä Ritolahden pumppaamon osa-alueelta vai onko käyntiaikapiikki vain seurausta ylempien pumppaamoiden vuotovesistä. Ritolahden yläpuolisista pumppaamoista vuotovettä muodostuu ainakin Esson, Jokiniemen ja Laaksopolun alueelta, joissa vuorokauden keskimääräinen käyntiaika on yli 500 min/d aikavälillä 17.–20.4.2013. Vuotovedet vaikuttavat hieman myös Pellosniemen ja Rajamäen pumppaamoihin, näkyen pienempänä kohoumana pumppaamoiden käyntiajoissa.



KUVIO 18 Ritolahden ja sitä edeltävien pumppaamoiden käyntiaikatiedot huhtikuussa 2013

Ritolahden pumppaamolta mitattiin myös kohonneita käyntiaikoja yöaikaan kuivan ajanjakson aikaan (8.–14.9.2014, kuvio 19), mikä voisi ilmentää pinta- tai pohjavedestä aiheutuvaa tasaista vuotoa. Jos pumpun tuotto pitää paikkansa, on tasaisen vuodon suuruus arviolta $60 \text{ m}^3/\text{d}$ ($2,5 \text{ m}^3/\text{h}$). Muiden pumppaamoiden osalta kuivan ajanjakson käyntiajat käsitellään vain Pellosniemen pumppaamon osalta



KUVIO 19 Ritolahden pumppaamon käyntiajat kuivana ajanjaksona 8.–14.9.2014

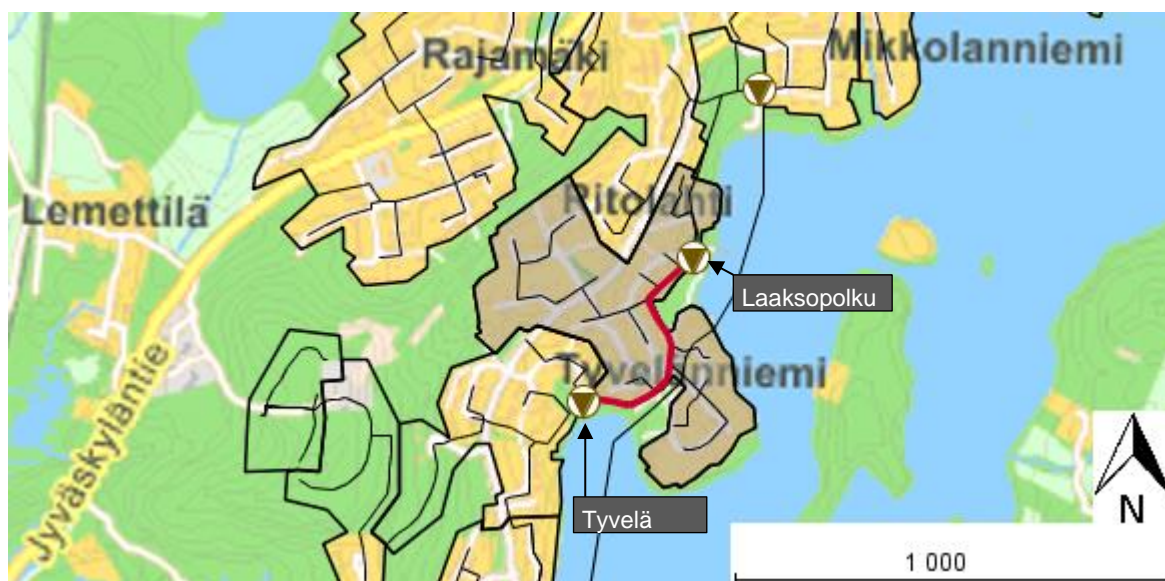
5.7 Laaksopolku

TAULUKKO 9 Laaksopolun pumpaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Laaksopolku Verkoston pituus: 8,3 km Pumpun tuotto: 0,69 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	128	127	122	318	108
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	108	108	108	108	108
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	20	19	14	210	-0
prosentti	%	15,3	14,7	11,3	66,0	-0,0
johto-osuudella	l/s/km	0,03	0,03	0,02	0,29	-0,00
pumppaamon alueelta	m ³ /d	11	8	4	179	0
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	54,4	42,4	32,2	85,5	-2,6
Käyntiaika keskimäärin	min/d	185	184	184	461	157

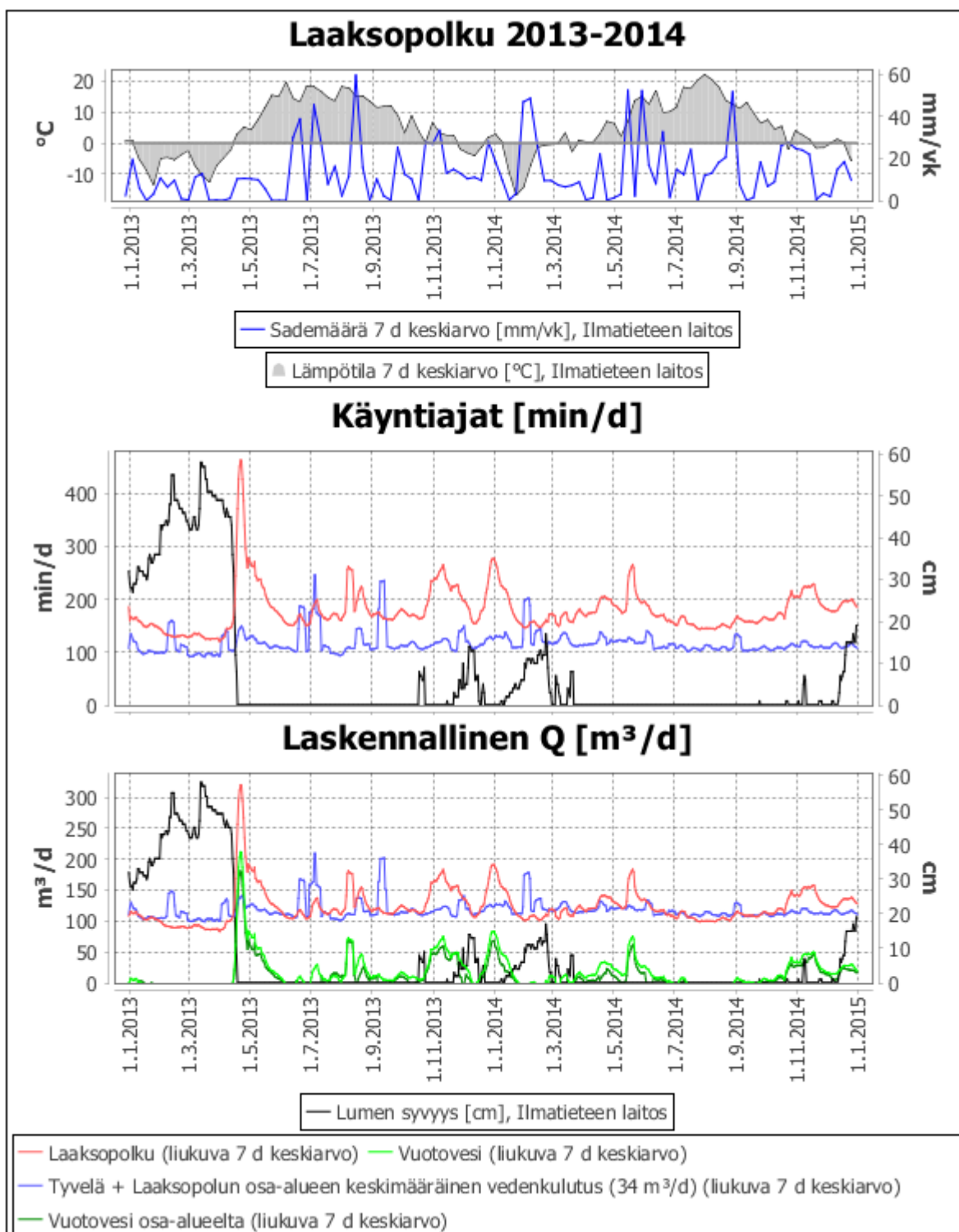
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Laaksopolun pumppaamon valuma-alue on yksi viidestä Ritolahden pumppaamolle viemäriveresiä siirtävästä haarasta. Laaksopolun pumppaamo muodostaa pienen osa-alueen (kuva 20) ja valtaosa (69 %) pumppaamon laskutetusta jätevedestä on peräisin Tyvelän pumppaamolta. Keskimääräisen kulutuksen perusteella Laaksopolun keskimääräinen jätevesivirtaama on 108 m³/d, josta tältä osa-alueelta on 34 m³/d. Laaksopolun pumppaamon pumput eivät olleet tiedossa pumppujen tuoton selvittämiseksi. Jos kulutustiedot sovitetaan kuivan kelin käyntiaikoihin, saadaan pumpun arvioiduksi tuotoksi 0,69 m³/d (11,49 l/s). Taulukossa 9 nähtävät pumppaamon virtaamat ja vuotovedet on laskettu käyttämällä tätä tuoton arvoa kaavan 1 mukaisesti. Koska virtaama on laskettu kuivan sääjakson käyntiaikoihin perustuen, näkyvät vuotoveden arvot taulukon oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa nollassa. Pinta- tai pohjavedestä aiheutuvaa vuotoa ei katsota esiintyvän merkittävästi kuivana ajanjaksona, koska käyntiajat putoavat yöaikaan kyseisenä aikajaksona nollassa.



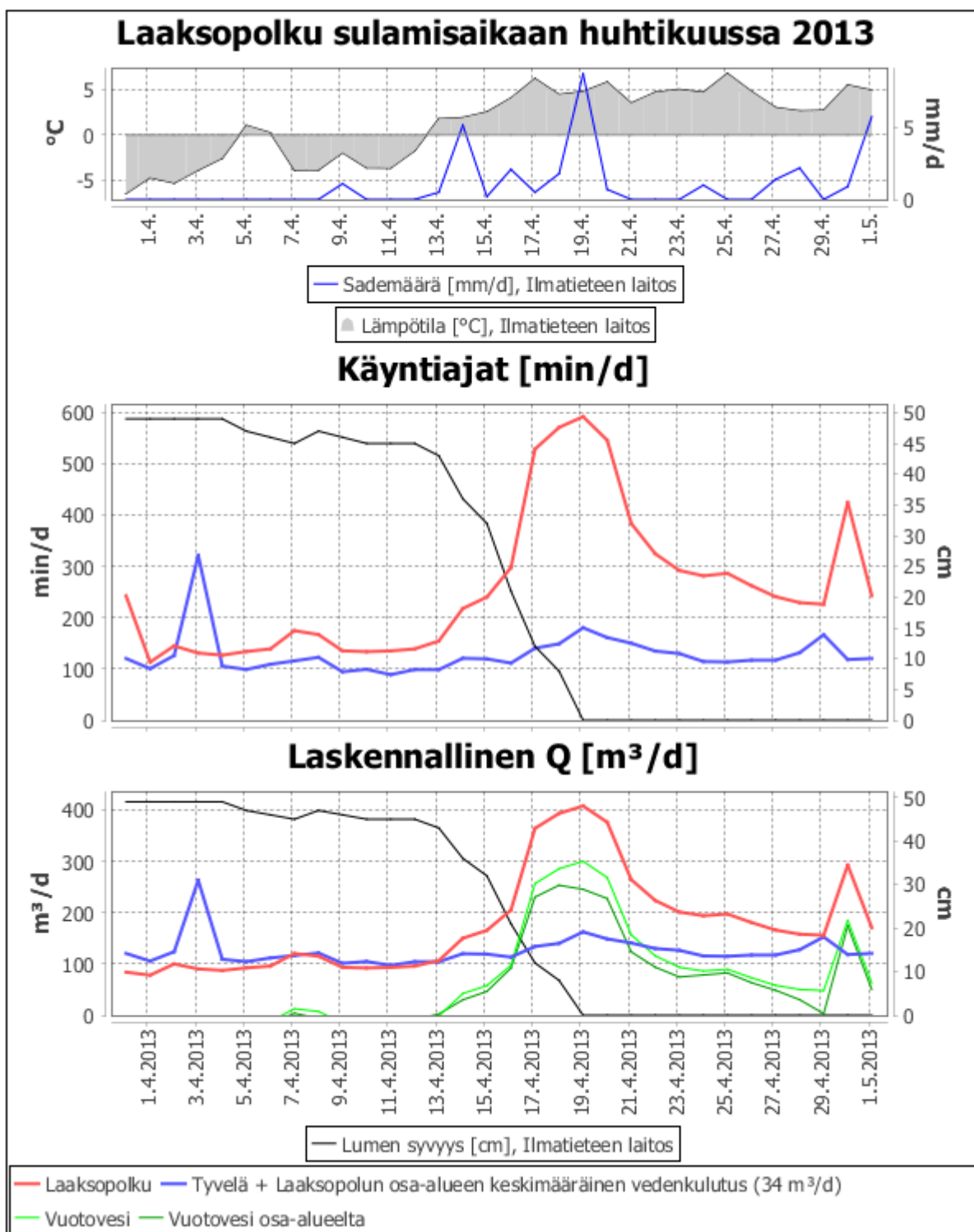
KUVA 20 Laaksopolun pumppaamon osa-alue

Laaksopolun ja Tyvelän pumppaamoiden käyntiajat vuosina 2013–2014 on nähtävissä kuviossa 20. Mikäli tiedot pitävät paikkansa, eivät lumen sulaminen tai rankkasateet juuri vaikuta Tyvelän pumppaamon käyntiaikoihin. Toisaalta jotkin Tyvelän pumppaamon käyntiaikapiikit, kuten syyskuussa 2013 ja helmikuussa 2014, eivät vaikuta Laaksopolun pumppaamon käyntiaikoihin. Tyvelän pumppaamolla mitatut käyntiaikapiikit voivat selittyä mittausdatan virheillä. Pumppujen tuotoilla arvioituna Laaksopolun pumppaamon siirtämät vuotovedet muodostuvat pääasiassa Laaksopolun pumppaamon osa-alueelta.



KUVIO 20 Laaksopolun ja Tyvelän pumppaamoiden käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Kuviossa 21 on otos Laaksopolun ja Tyvelän pumppaamoiden käyntiajoista ja laskennallisista virtaamista lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013. Kuukauden alussa käyntiajat ovat kuivaa ajanjaksoa pienemmät (alle 157 min/d), jonka seurauksena Laaksopolun vuotovedet näyttävät olevan aluksi alle nollan. Lumen sulamisen seurauksena Laaksopolun pumppaamon käyntiajat nousevat yli 500 min/d:n, mutta Tyvelän pumppaamon käyntiajoissa ei tapahdu vastaavaa muutosta. Arvioituja pumppujen tuottoja käyttämällä aikajaksolla 15.–21.4.2013 vuotovesien osuus virtaamasta oli noin 66 % ja Laaksopolun vuotovedestä 85,5 %:ia (179 m³/d) oli peräisin tältä osa-alueelta (taulukko 9).



KUVIO 21 Laaksopolun ja Tyvelän pumppaamoiden käyntiaikatiedot, laskennalliset virtaamat ja Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot huhtikuussa 2013

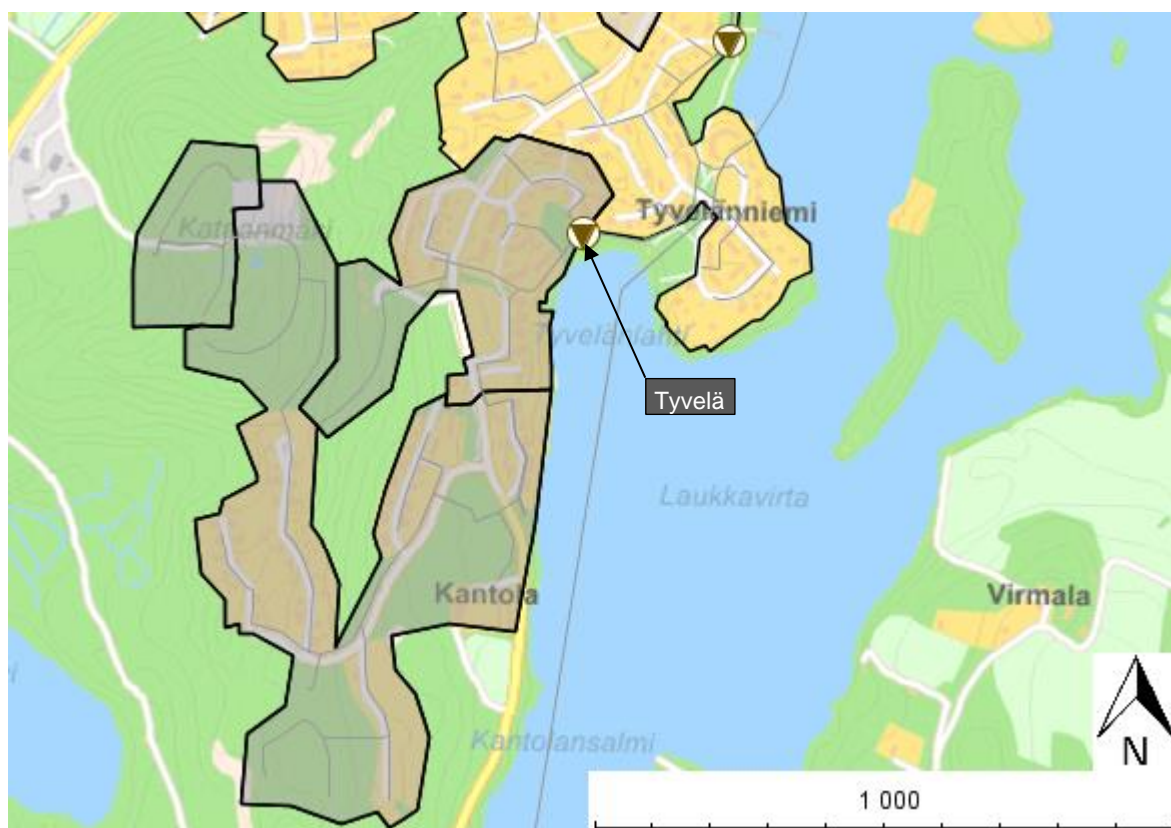
5.8 Tyvelä

TAULUKKO 10 Tyvelän pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedit

Pumppaamo: Tyvelä Verkoston pituus: 5,8 km Pumpun tuotto: 0,71 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	83	85	83	104	74
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	74	74	74	74	74
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	9	11	9	30	-0
prosentti	%	10,7	12,7	11,2	29,0	-0,0
johto-osuudella	l/s/km	0,02	0,02	0,02	0,06	-0,00
Käyntiaika keskimäärin	min/d	116	119	119	146	104

*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Tyvelän pumppaamon valuma-alue sisältää kaksi pienempää pumppaamoa, jotka on tässä vuotovesiselvityksessä käsitelty osana Tyvelän pumppaamon osa-aluetta (kuva 21). Osa-alueen etelä- ja länsiosat koostuvat uusista omakotitaloalueista ja siten asuinalueiden rajat eivät näy kokonaisuudessaan kuvassa 21. Vedenkulutus Tyvelän pumppaamon valuma-alueella on keskimäärin 74 m³/d. Tyvelän pumppaamon käyntiaikojen vaihtelut kuivan kelin ja lumen sulamisen välillä ovat vähäisiä ja siten ovat myös vuotovesimäärät (taulukko 10). Tyvelän pumppaamon käyntiajat vuosina 2013–2014 ja virtaamat keväällä 2013 käsiteltiin Laaksopolun pumppaamon yhteydessä ja alueelta todettiin muodostuvan vain vähän vuotovettä.



KUVA 21 Tyvelän pumppaamon osa-alue

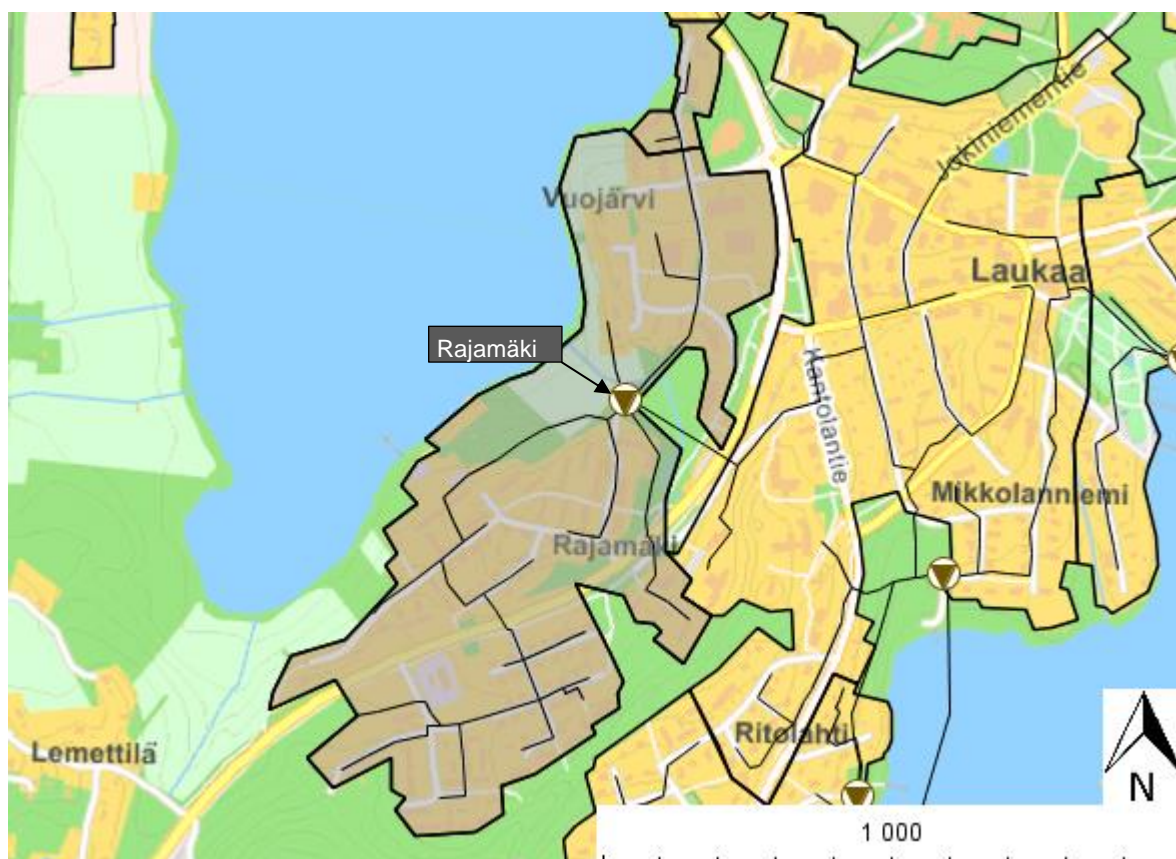
5.9 Rajamäki

TAULUKKO 11 Rajamäen pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Rajamäki Verkoston pituus: 4,0 km Pumpun tuotto: 1,24 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät 15.4.2013- 21.4.2013	Kuiva keli 8.9.2014- 14.9.2014
		2012	2013	2014		
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	104	102	90	225	84
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	84	84	84	84	84
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	20	18	6	141	-0
prosentti	%	18,9	18,0	6,5	62,6	-0,3
johto-osuudella	l/s/km	0,06	0,05	0,02	0,40	-0,00
Käyntiaika keskimäärin	min/d	83	82	82	181	67

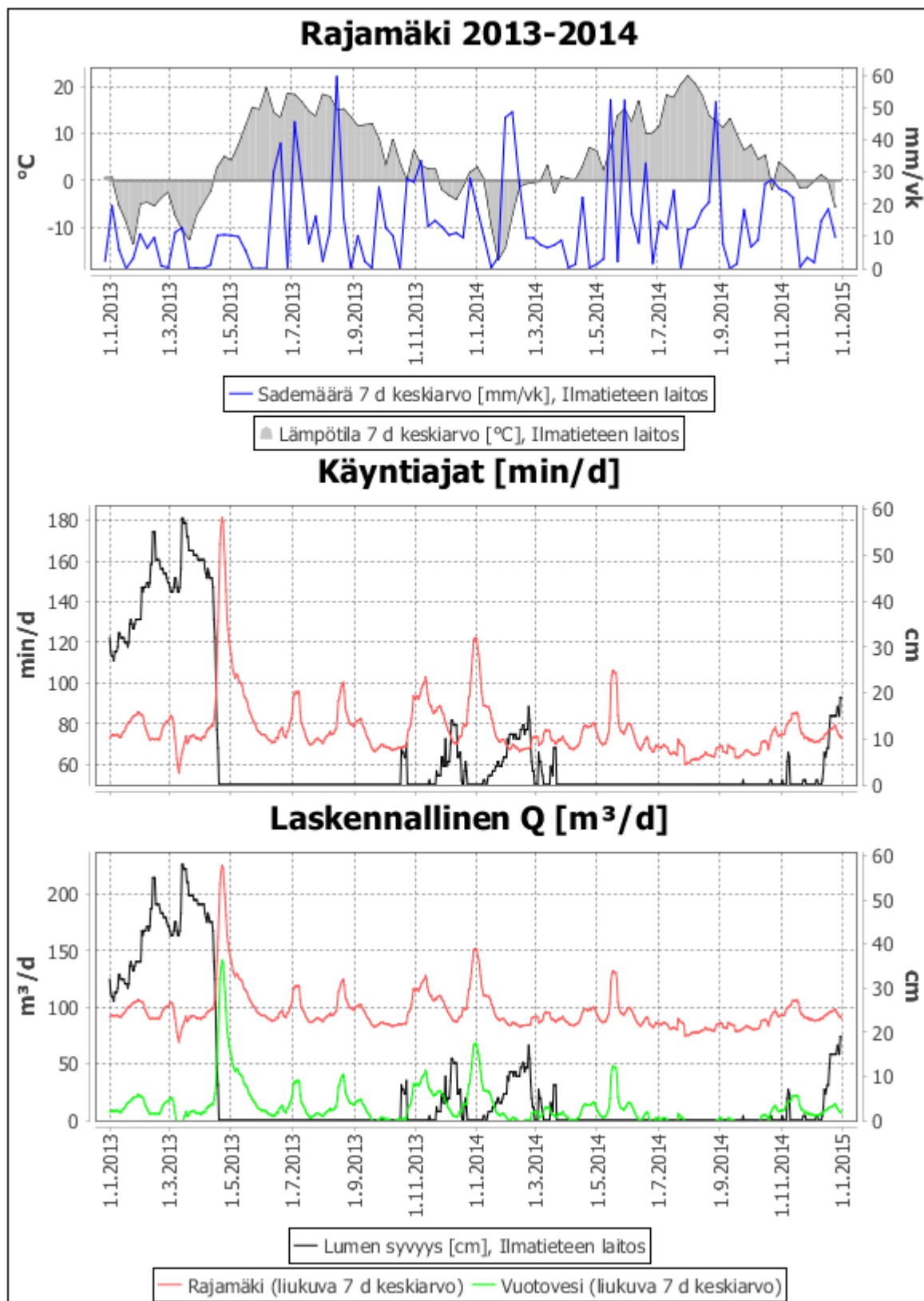
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Rajamäen pumppaamo muodostaa oman valuma-alueensa (kuva 22), jonka keskimääräinen vedenkulutus on 84 m³/d. Alue on pääosin viettoviemäriä, lukuun ottamatta sen pohjoisosassa olevaa yhtä pientä pumppaamaa. Pumppaamon käyntiaika kuivana aikajaksona oli 67 min/d. Lyhyestä käyntiajasta johtuen Rajamäen pumppujen arvioitu tuotto (1,24 m³/d) on jopa suurempi kuin Laaksopolun pumppaamolla (0,69 m³/d), vaikka Rajamäen alueen keskimääräinen vedenkulutus (84 m³/d) on Laaksopolun aluetta (108m³/d) vähäisempi. Taulukon 11 perusteella käyntiajoissa on eroavaisuutta kuivan sääjakson ja sulamisajan välillä, mutta alueen vuotavuus vuositason on pientä.



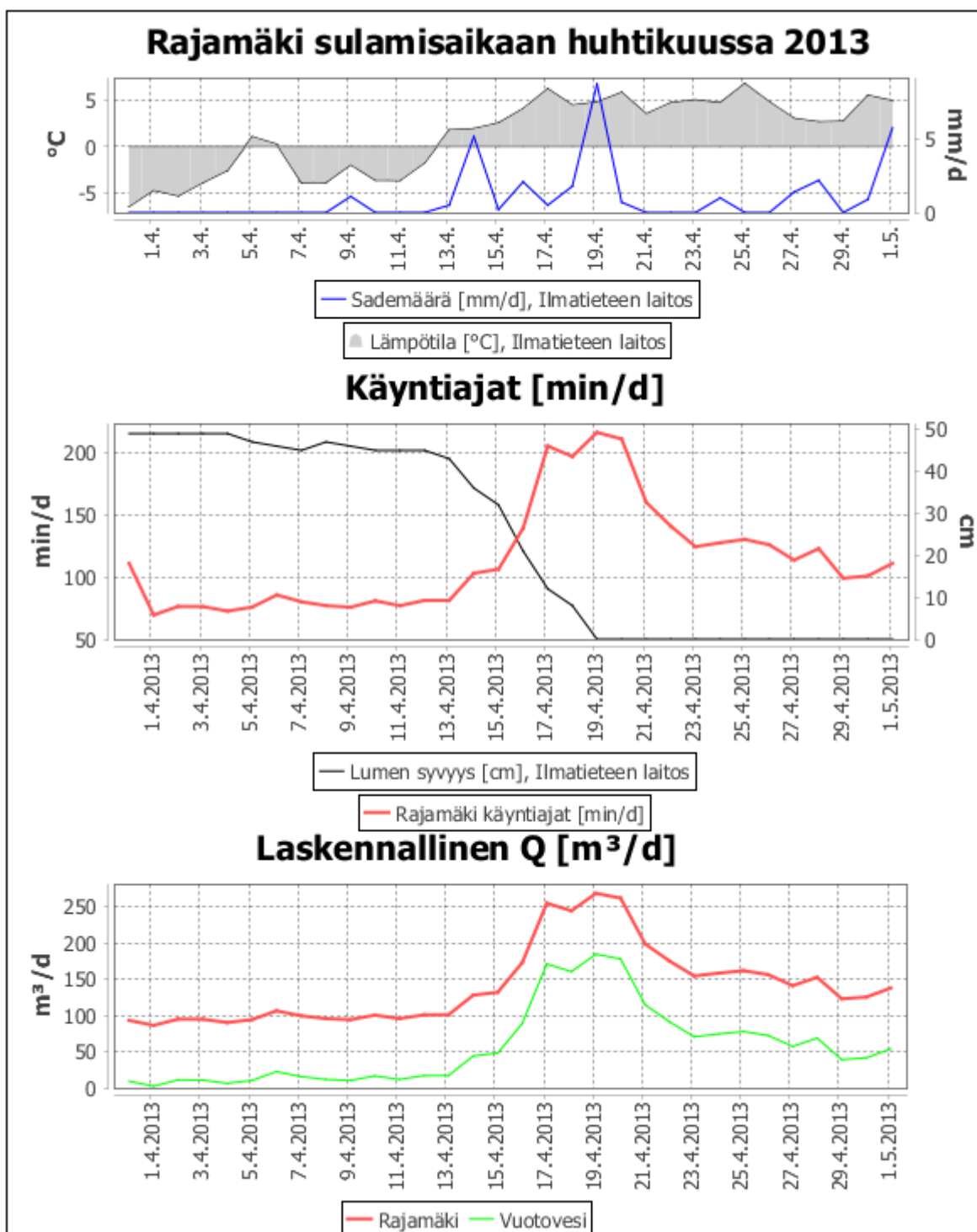
KUVA 22 Rajamäen pumppaamon osa-alue

Rajamäen pumpaamon käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014 on nähtävissä kuviossa 22. Lumen sulaminen vuosien 2013 huhtikuussa ja 2014 tammikuussa näkyvät pumpaamon käyntiajoissa, mutta käyntiaikapiekit ovat Ritolahden pumpaamolle johtavista pumpaamoista matalimmat (kuvio 18). Jostain syystä, maaliskuun 2014 lumen sulaminen ei näy Rajamäen pumpaamon käyntiajoissa.



KUVIO 22 Rajamäen pumpaamon käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Rajamäen pumpaamon huhtikuun 2013 aikaiset käyntiajat ja laskennalliset virtaamat on esitetty kuviossa 23. Huhtikuun alussa vuotovesien määrä on nollan tuntumassa, eli käyntiajat ovat vastanneet kuivan kelin keskimääräistä käyntiaikaa. Vuotovesien määrän arvioitiin kohonneen muutamaksi päiväksi noin $150 \text{ m}^3/\text{d}$ tuntumaan. 15–21.4.2013 välisenä aikana vuotovettä arvioitiin muodostuneen verkoston alueelta keskimäärin $141 \text{ m}^3/\text{d}$, joka olisi noin 8 % Kuhankosken pumppaamon vuotovesistä ($1830 \text{ m}^3/\text{d}$) vastaavana aikajaksona. Rajamäen pumppaamon alueelta muodostui vähemmän vuotovesiä, kuin Laaksopolun pumppaamon verkostohaarasta.



KUVIO 23 Rajamäen pumppaamon käyntiaikatiedot, laskennalliset virtaamat ja Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot huhtikuussa 2013

5.10 Esso

TAULUKKO 12 Esson pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedit

Pumppaamo: Esso	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
Verkoston pituus: 15,5 km					15.4.2013-	8.9.2014-
Pumpun tuotto: 1,27 m ³ /min		2012	2013	2014	21.4.2013	14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	446	398	361	754	266
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	224	224	224	224	224
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	222	174	137	530	42
prosentti	%	49,8	43,8	38,0	70,3	15,7
johto-osuudella	l/s/km	0,17	0,13	0,10	0,40	0,03
pumppaamon alueelta	m ³ /d	107	76	73	181	42
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	48,4	43,8	53,1	34,2	100,2
Käyntiaika keskimäärin	min/d	352	314	314	595	210

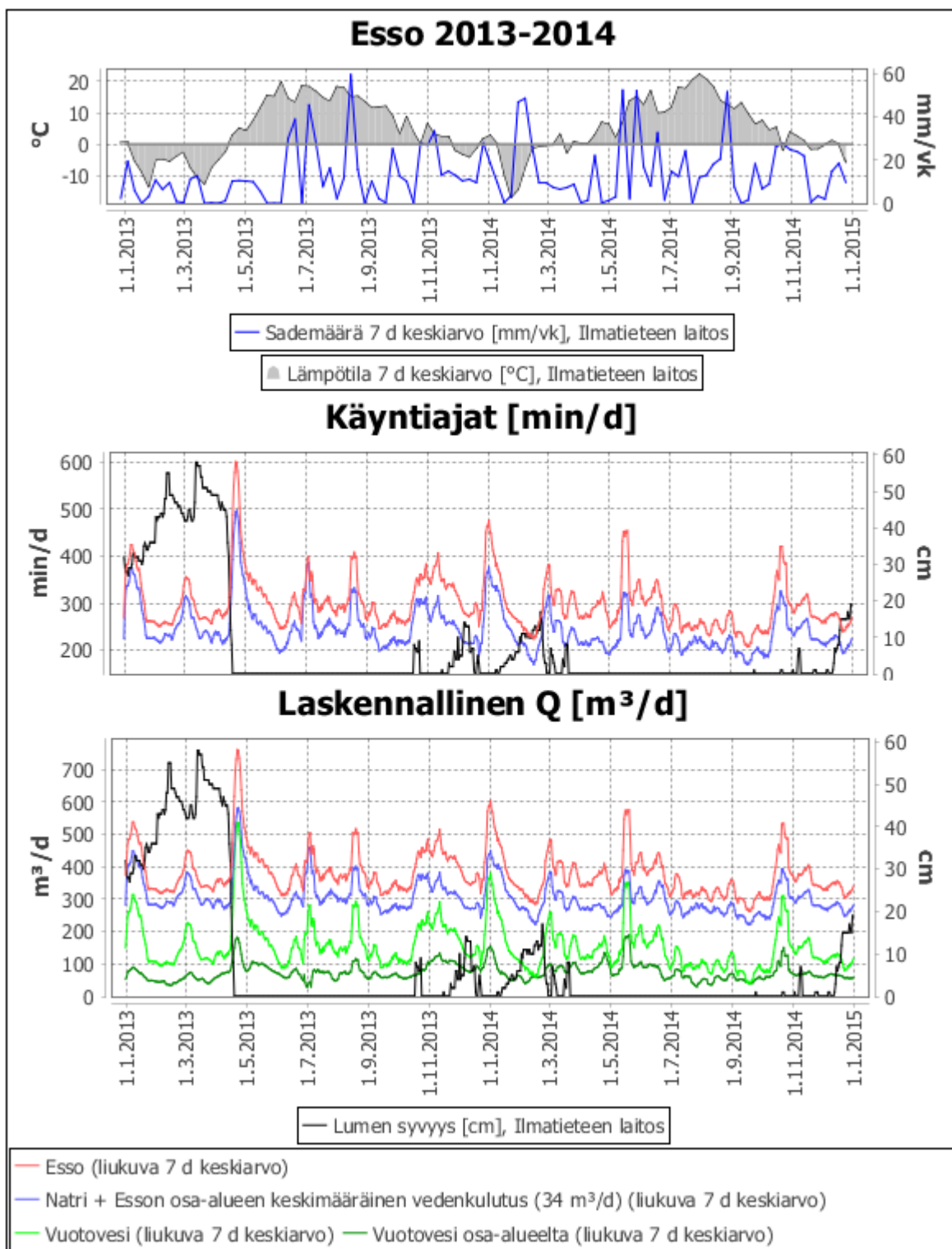
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Esson pumppaamo siirtää Natriin pumppaamon ja Esson osa-alueelta (kuva 23) muodostuvia viemäriä kohti Ritolahden pumppaamoa. Keskimääräinen vedenkulutus on 224 m³/d, josta 34 m³/d on tältä osa-alueelta. Kuivan sääjakson käyntiaikojen ja kulutustietojen pohjalta Esson pumppujen tuoton arvioitiin olevan suuruusluokkaa 1,27 m³/d (21,12 l/s) (taulukko 12). Koska kuivan kelin aikajaksoilla oli hetkiä, jolloin molemmat pumput toimivat yhtä aikaa, näyttää kuivan kelin keskimääräinen virtaama suuremmalta kuin alueen keskimääräinen kulutus. Pumppujen yhtäaikaiset käynnit kuivana ajanjaksolla johtunevat Peurungan kylpylän vedenkäytön vaihteluista. Kolme käyntiaikapiikkiä kuivalle kelillä sijoittuivat klo 8–11 välille vuorokausina 9.9.2014 (ti), 11.9.2014 (to) ja 13.9.2014 (la).



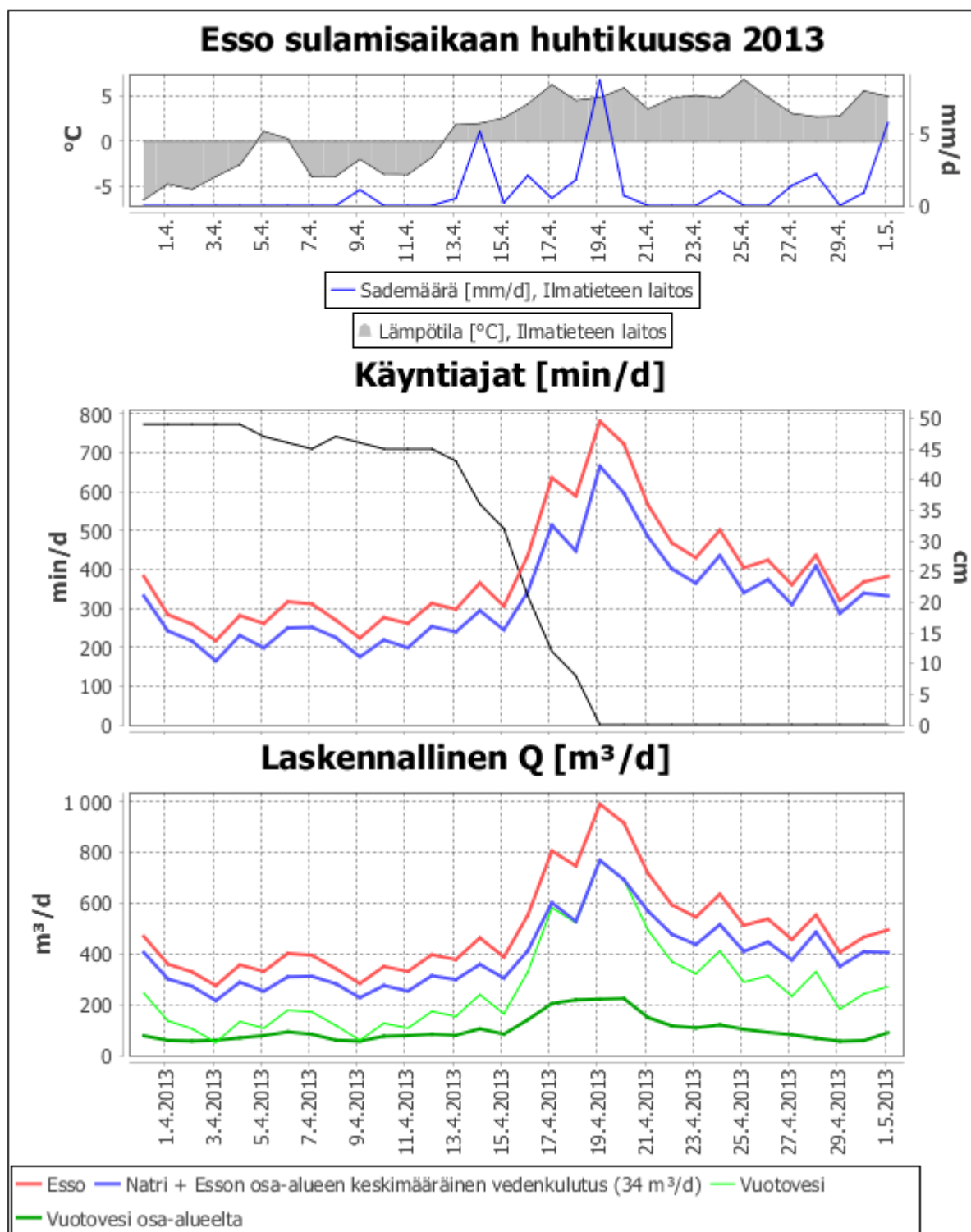
KUVA 23 Esson pumppaamon osa-alue

Kuviossa 24 on esitetty Esson ja Natrin pumppaamoiden käyntiaikatiedot ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosien 2013–2014 aikana. Lumen sulamisella ja suurilla sademäärillä on yhteys pumppaamoiden käyntiaikoihin. Käyntiaikojen muutokset toistuvat molemmissa pumppaamoissa samalla tavoin. Pumppujen arvioituja tuottoja käyttämällä Esson pumppaamon valuma-alueen vuotovesistä noin puolet muodostuisi Esson pumppaamon osa-alueelta vuonna 2014. Laskennallisia virtaamia voidaan myöhemmin tarkentaa todellisten pumppujen tuotoilla.



KUVIO 24 Esson ja Natrin pumppaamoiden käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Esson ja Natrin pumppaamoiden käyntiajat ja laskennalliset virtaamat lumen sulamisaikaan huhtikuussa 2013 on esitetty kuviossa 25. Kuvion käyntiaikojen perusteella voisi arvella, että lumen sulamiseen reagoivat vuotoalueet sijaitsivat suurimmaksi osaksi Natrin pumppaamon yläpuolisessa verkostossa, koska käyntiajat mukailevat tarkasti toinen toistaan. Esson pumppaamon arvioitu tuotto (1,27 m³/min) on suurempi kuin Natrin pumppaamon arvioitu tuotto (1,10 m³/d), mikä vaikuttaa laskennallisten virtaamien ja vuotovesien tuloksiin. Esimerkiksi aikajaksolla 1.–15.4.2013 Esson pumppaamolla näyttäisi olevan tasaista vuotoa, vaikka näin ei välttämättä todellisuudessa ole.



KUVIO 25 Esson ja Natrin pumppaamoiden käyntiaikatiedot, laskennalliset virtaamat ja Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013

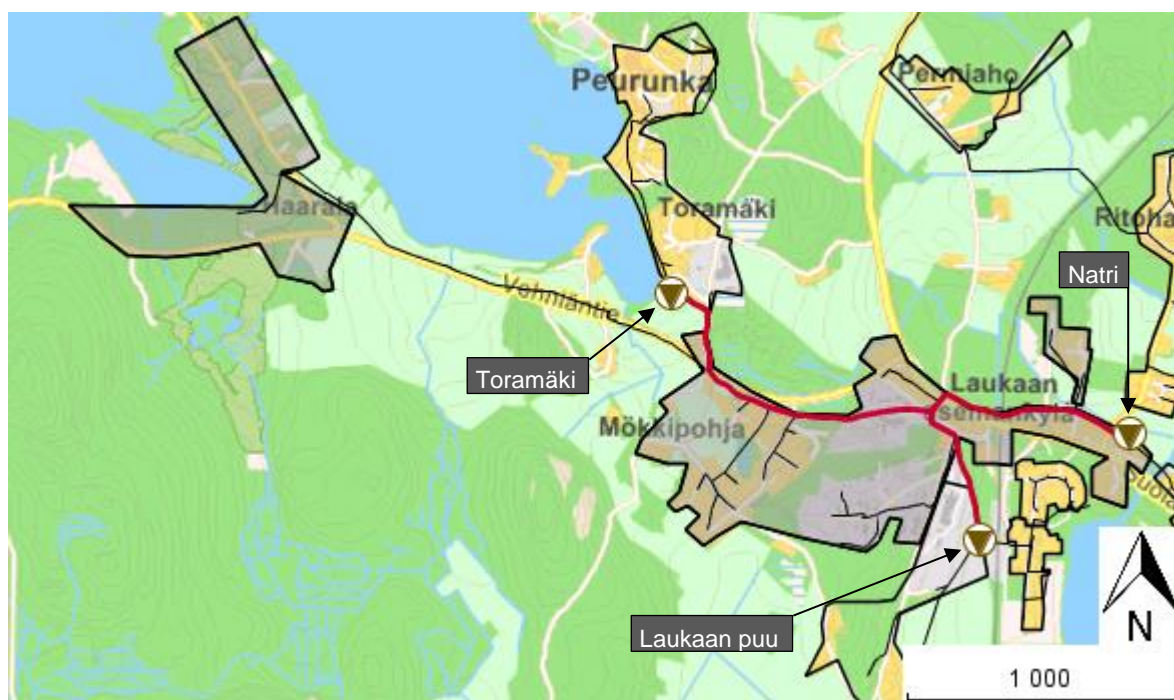
5.11 Natri

TAULUKKO 13 Natriin pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedit

Pumppaamo: Natri	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
Verkoston pituus: 12,2 km					15.4.2013-	8.9.2014-
Pumpun tuotto: 1,10 m ³ /min		2012	2013	2014	21.4.2013	14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	305	288	254	539	190
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	190	190	190	190	190
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	115	98	64	349	-0
prosentti	%	37,6	34,0	25,3	64,8	-0,0
johto-osuudella	l/s/km	0,11	0,09	0,06	0,33	-0,00
pumppaamon alueelta	m ³ /d	42	30	19	149	-0
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	36,3	30,6	30,2	42,7	32,7
Käyntiaika keskimäärin	min/d	276	261	261	488	172

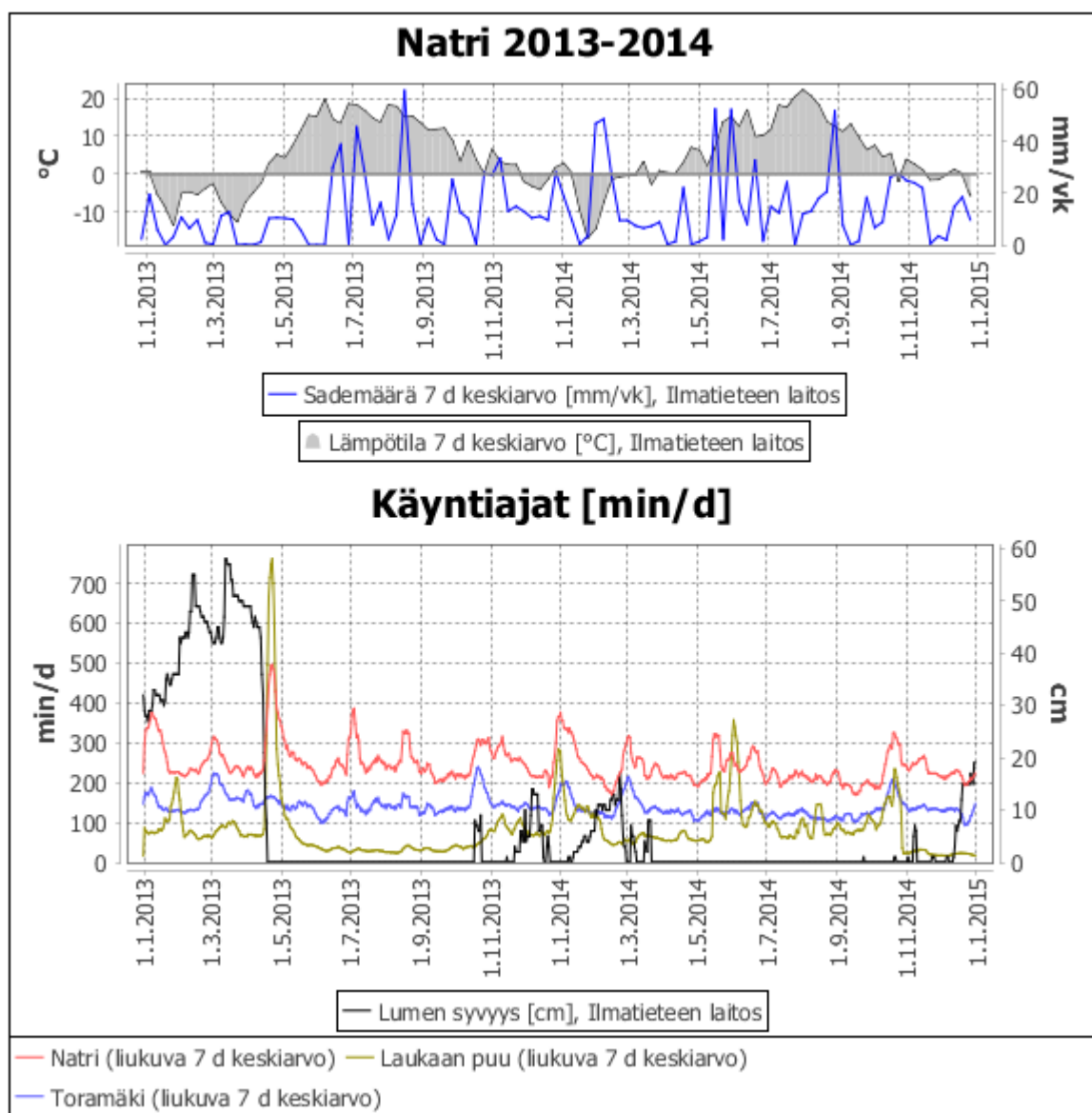
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Kuten Esson pumppaamon kappaleessa todettiin, muodostuu vuotovettä Natriin pumppaamon yläpuolisilta alueilta. Natriin pumppaamon osa-alueeseen kuuluvat kuvaan 24 harmaalla merkityt alueet. Pumppaamolle johdetaan viemäriä myös Toramäen ja Laukaan puun pumppaamoilta. Natri siirtää viemäriä kohti Esson pumppaamo. Pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus on 190 m³/d, josta harmaalla merkityltä osa-alueelta on 27 m³/d (taulukko 13). Natriin pumppaamon yläpuolisten alueiden keskimääräisestä vedenkäytöstä 80 % (152 m³/d) tulee Toramäen pumppaamolta, jonka osa-alueella sijaitsee muun muassa Peurungon kylpylä.



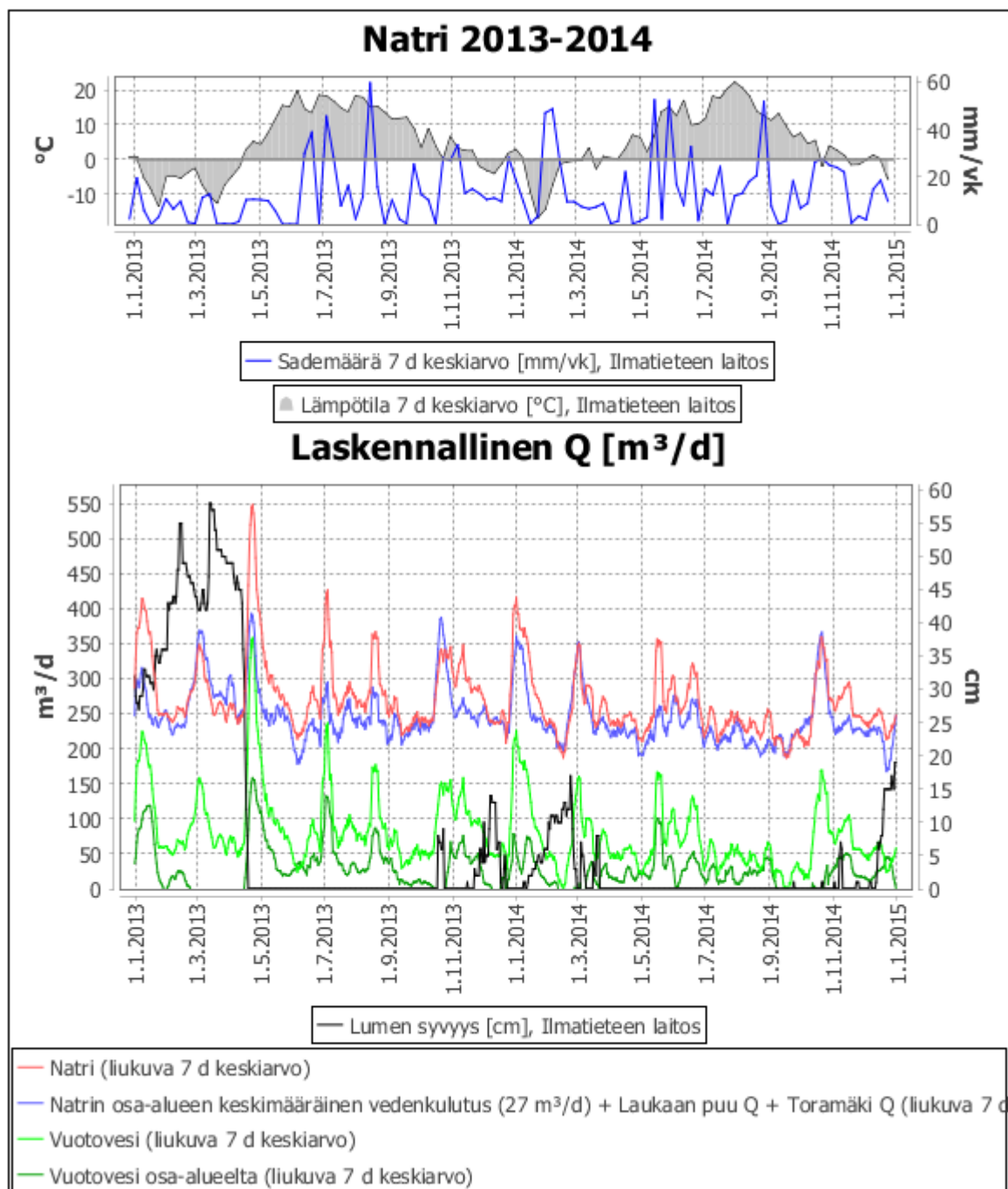
KUVA 24 Natriin pumppaamon osa-alue

Natrin, Toramäen ja Laukaan puun pumppaamoiden käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014 on esitetty kuviossa 26. Laukaan puun pumppaamon käyntiajat kasvavat ajoittain reilusti lumen sulamisen ja rankkasateiden aikaan. Toisaalta joissain tilanteissa, kuten kesäkuussa 2014, korkeat käyntiajat Laukaan puun pumppaamolla ei välttämättä heijastu yhtä suuresti Natrin pumppaamon käyntiaikoihin, mikä johtunee pumpun tuottojen eroavaisuuksista. Laukaan puun pumppaamolla on todennäköisesti huomattavasti ”pienemmät” pumpput mitä Natrin ja Toramäen pumppaamoilla. Toramäen pumppaamon käyntiaikojen ja lumen sulamisen välillä voi olla yhteys. Poikkeuksena on kuitenkin vuoden 2013 huhtikuu, jolloin käyntiaikoihin ei muodostu suurta muutosta lumen sulamisen seurauksena.



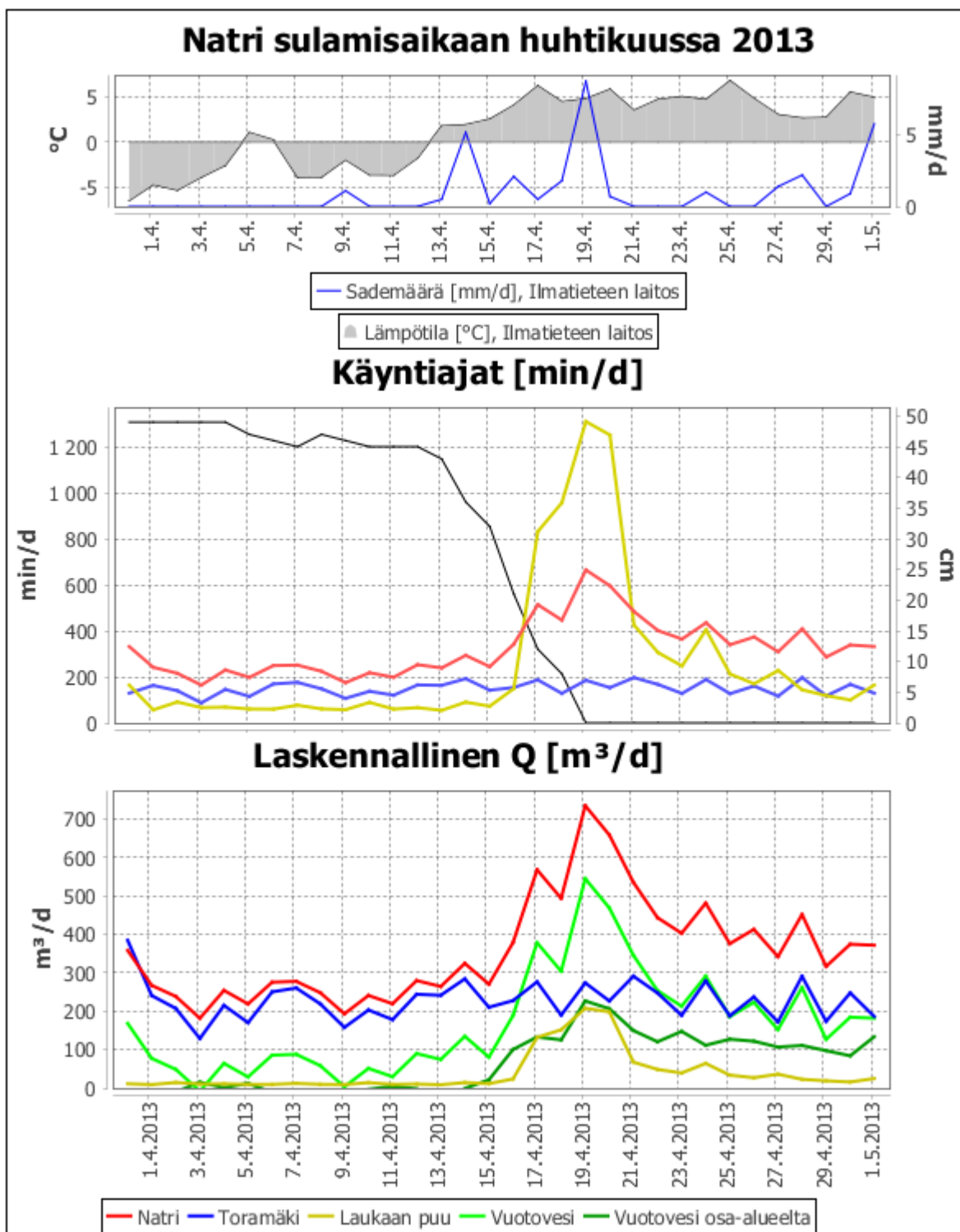
KUVIO 26 Natrin, Toramäen ja Laukaan puun pumppaamoiden käyntiajat ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Kuviossa 27 on nähtävillä Natrin pumppaamon laskennallinen virtaama (punainen viiva) vuosina 2013–2014. Kuvioon sinisellä viivalla on merkitty Laukaan puun ja Toramäen pumppaamoiden virtaamien sekä Natrin pumppaamon osa-alueen keskimääräisen vedenkulutuksen summa. Viivojen välille jäävä alue koostuu Natrin osa-alueelta muodostuneesta vuotovedestä (tumman vihreä viiva). Natrin, Laukaan puun ja Toramäen pumppujen arvioituihin tuottoihin perustuen Natrin pumppaamon osa-alueelta muodostui noin 30 % (19 m³/d) Natrin pumppaamon valuma-alueen vuotovesistä vuonna 2014. Loput 70 % (45 m³/d) Natrin pumppaamon valuma-alueen vuotovesistä muodostui Laukaan puun ja Toramäen pumppaamoiden alueilta.



KUVIO 27 Natrin pumppaamon laskennalliset virtaamat ja vuotovedet vuosina 2013–2014

Natrin, Toramäen ja Laukaan puun pumppaamoiden käyntiajat ja laskennalliset virtaamat lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013 on esitetty kuviossa 28. Lumen sulaminen vaikuttaa suurinten Laukaan puun pumppaamon käyntiaikoihin. Käyntiajan vaikutus laskennalliseen virtaamaan on kuitenkin suhteellisen vähäinen, koska Laukaan puun pumppujen tuotot arvellaan olevan pieniä (2,6 l/s) suhteessa Toramäen (24,6 l/s) ja Natrin (18,4 l/s) pumppuihin. Kuten aiemmin mainittiin, ei lumen sulaminen vaikuta Toramäen pumppaamon käyntiaikoihin tällä aikajaksolla.



KUVIO 28 Natrin, Toramäen ja Laukaan puun pumppaamoiden käyntiaikatiedot ja laskennalliset virtaamat sekä Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013

5.12 Laukaan puu

TAULUKKO 14 Laukaan puun pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedit

Pumppaamo: Laukaan puu Verkoston pituus: 2,8 km Pumpun tuotto: 0,16 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät 15.4.2013- 21.4.2013	Kuiva keli 8.9.2014- 14.9.2014
		2012	2013	2014		
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	9	13	13	117	11
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	11	11	11	11	11
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	-2	2	2	106	-0
prosentti	%	-17,4	15,2	17,9	90,6	-0,2
johto-osuudella	l/s/km	-0,01	0,01	0,01	0,45	-0,00
Käyntiaika keskimäärin	min/d	59	82	82	740	69

*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Laukaan puun käyntiajat vuosina 2013–2014 ja huhtikuussa 2013 käsiteltiin Natrin pumppaamon yhteydessä kuvioissa 26 ja 28. Laukaan puun pumppaamon osa-alueen (kuva 25) keskimääräinen vedenkäyttö laskutustietojen mukaan on 11 m³/d. Pumppaamon käyntiajat vaihtelevat suuresti kuivan sääjakson ja lumen sulamisen aikaisten mittausten välillä (taulukko 14), mikä johtunee hulevuotovesien päätyemisestä jätevesiviemäriin. Vuotovesien muodostuminen Laukaan puun pumppaamon alueelta on yksi osatekijä Ritolahden pumppaamolla mitatuille, vuoden 2013 huhtikuun korkeille käyntiajoille. Vuotuisella tasolla keskimäärin vuotovettä ei näyttäisi muodostuvan alueelta merkittäviä määriä. Vuotovesien ja virtaaman suuruuden arviointiin vaikuttavat merkittävästi pumppaamon pumppujen tuotot, joista ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa. Pienen kokonsa vuoksi osa-alueen vuotokohdat olisi helppo tarkistaa esimerkiksi savukokein.



KUVA 25 Laukaan puun pumppaamon osa-alue

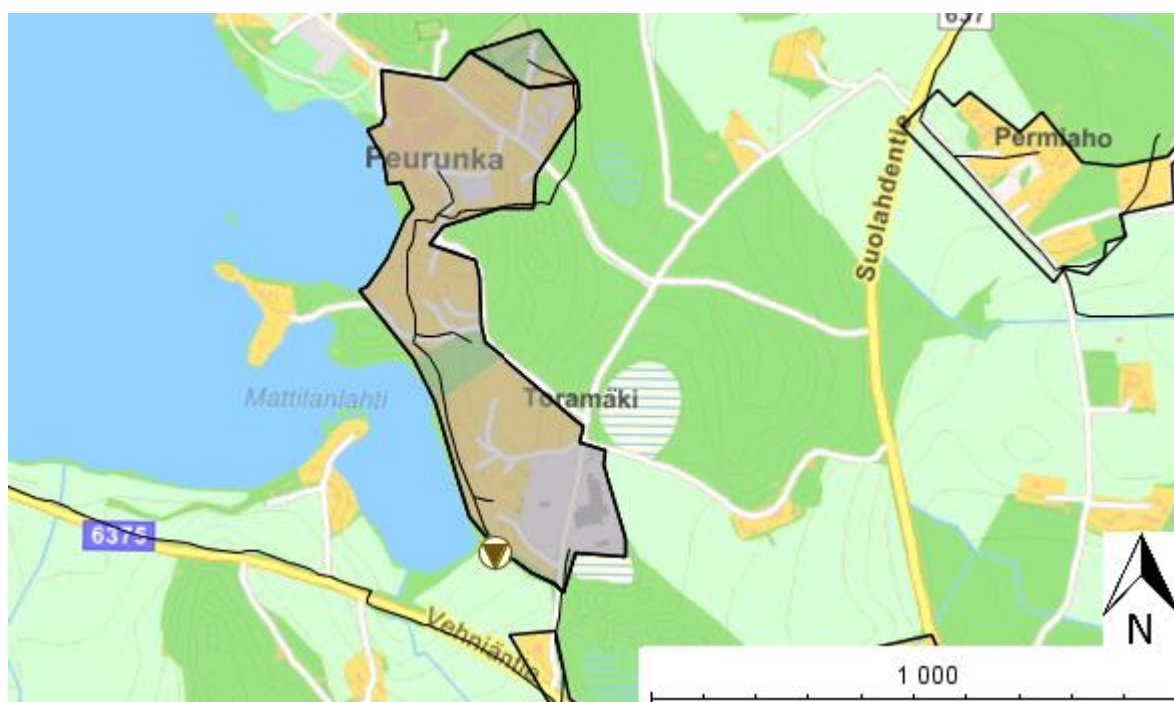
5.13 Toramäki

TAULUKKO 15 Toramäen pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Toramäki Verkoston pituus: 1,8 km Pumpun tuotto: 1,48 m ³ /min	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	227	218	194	246	152
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	151	151	151	151	151
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	76	67	43	95	1
prosentti	%	33,4	30,7	22,4	38,6	0,6
johto-osuudella	l/s/km	0,49	0,43	0,28	0,62	0,01
Käyntiaika keskimäärin	min/d	153	148	148	166	103

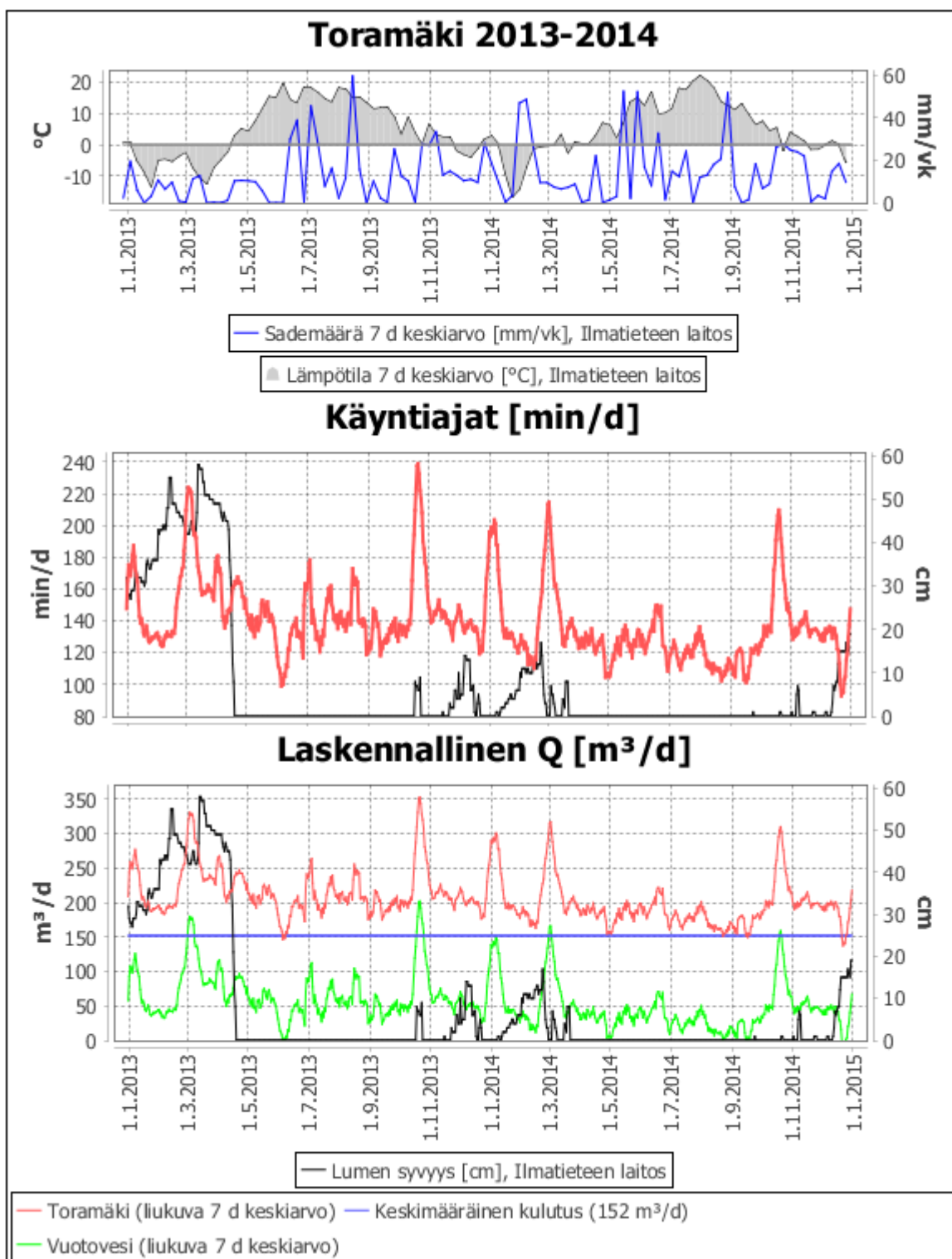
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Toramäen pumppaamo siirtää muun muassa Peurungan kylpylän viemäriveresiä kohti Natrin pumppaamoa (kuva 26). Toramäen pumppaamon alueen vedenkulutus on keskimäärin 151 m³/d. Suuri keskimääräinen vedenkäyttö heijastuu myös pumppaamon käyntiaikoihin ja vuotovedet näkyvät pumppaamon käyntiajoissa pienempinä muutoksina. Lumen sulamisella ja rankkasateilla voi olla yhteys pumppaamon käyntiaikoihin, mutta aikajaksolla 15.4.–21.4.2013 käyntiaikojen muutos on vähäistä (taulukko 15). Vähäinen muutos kyseisen aikajakson käyntiajoissa voi johtua maan roudasta, jolla on ollut estävä vaikutus vuotovesien muodostumiselle. Jos oletus on oikea, vuoto ei todennäköisesti johdu hulevuotovesistä, vaan ennemmin viemäriputkien ja niiden liitosten vuodoista. Suurin osa (67 %) Natrin pumppaamon vuotuisesta vuotovesimäärästä (keskimäärin 64 m³/d) katsotaan muodostuneen Toramäen pumppaamon alueelta. Alueella voitaisiin suorittaa esimerkiksi tarkastuskaivojen silmämääräisiä tutkimuksia sekä TV-kuvauksia.



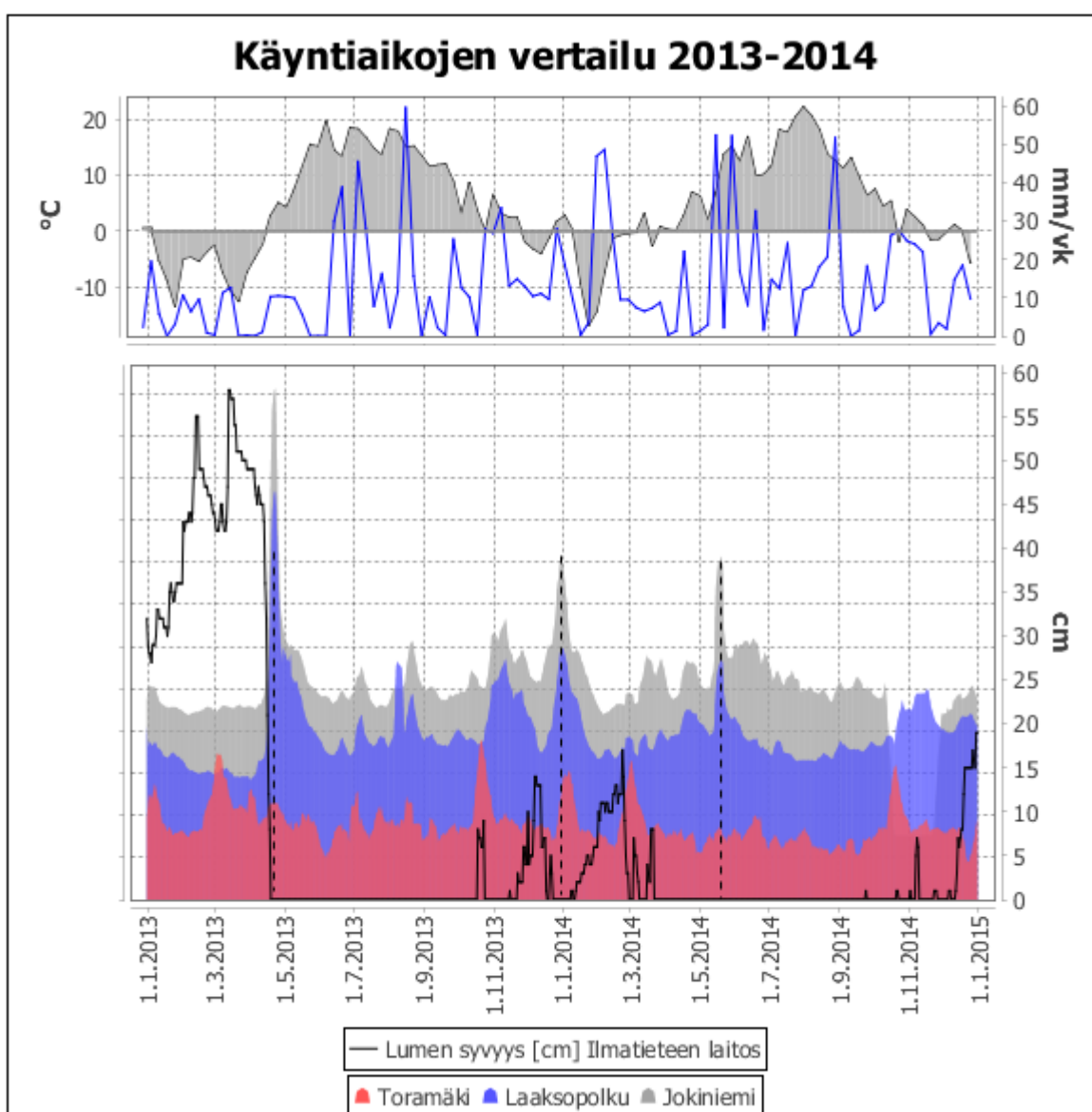
KUVA 26 Toramäen pumppaamon osa-alue

Toramäen pumppaamon käyntiajat ja Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014 on esitetty kuviossa 29. Käyntiajoissa ilmenee viisi käyntiaikapiikkiä: maaliskuulla ja lokakuulla vuonna 2013 sekä tammikuulla, maaliskuulla sekä lokakuulla vuonna 2014. Kaikille käyntiaikapiikeille yhteinen tekijä voisi olla vuorokauden keskilämpötila, joka pakkasjakson jälkeen on siirtynyt lämpöasteiden puolelle, mahdollistaen lumen sulamisen. Toisaalta ajoittaiset korkeat käyntiajat voisivat olla myös seurausta Peurungan vedenkäytön vaihteluista. Käyntiaikojen muutoksia on hyvä verrata vielä toisiin pumppaamoihin, joihin Toramäen pumppaamon virtaamat eivät vaikuta.



KUVIO 29 Toramäen pumppaamon käyntiaikatiedot ja vuotovedet sekä Ilmatieteenlaitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Kuviossa 30 on nähtävillä Toramäen, Jokiniemen ja Laaksopolun pumppaamoiden käyntiaikojen muutokset aikavälillä 2013–2014. Pumppaamoiden käyntiajat ovat toisistaan riippumattomia, eli pumppaamot eivät ole kytköksissä toisiinsa. Havainnollistamisen vuoksi käyntiajat on erotettu toisistaan summavakioiden avulla ja tästä syystä kuviosta on poistettu käyntiaikojen yksiköt. Jokiniemen ja Laaksopolun käyntiaikojen muutokset vastaavat toisiaan, koska suurin viemärvirtaamamuutoksia aiheuttava tekijä on vuotovedet (alueilla ei ole teollisuutta). Toramäen korkeista viidestä käyntiaika-
piikistä vain yksi (tammikuu 2014) sijoittuu samaan aikaan Jokiniemellä tai Laaksopolulla mitattuihin käyntiaikojen nousuihin. Lisäksi vuoden 2014 toukokuussa mitattiin sekä Jokiniemellä, että Laaksopolulla rankasateen aikaan korkeita käyntiaikoja, jota Toramäen pumppaamolla ei tapahtunut. On mahdollista, että Toramäen korkeimmat käyntiaikojen nousut johtuisivat Peurungan vedenkäytön vaihteluista vuotovesien sijaan.



KUVIO 30 Käyntiaikojen muutokset Toramäen, Laaksopolun ja Jokiniemen pumppaamoilla

5.14 Jokiniemi

TAULUKKO 16 Jokiniemen pumpaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Jokiniemi	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
Verkoston pituus: 15,9 km					15.4.2013-	8.9.2014-
Pumpun tuotto: 0,85 m ³ /min		2012	2013	2014**	21.4.2013	14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	240	161	162	447	158
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	158	158	158	158	158
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	82	3	4	289	-0
prosentti	%	34,1	2,1	2,5	64,7	-0,1
johto-osuudella	l/s/km	0,06	0,00	0,00	0,21	-0,00
pumppaamon alueelta	m ³ /d	78	3	3	247	-0
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	95,9	99,2	80,6	85,3	33,6
Käyntiaika keskimäärin	min/d	282	190	190	526	186

*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

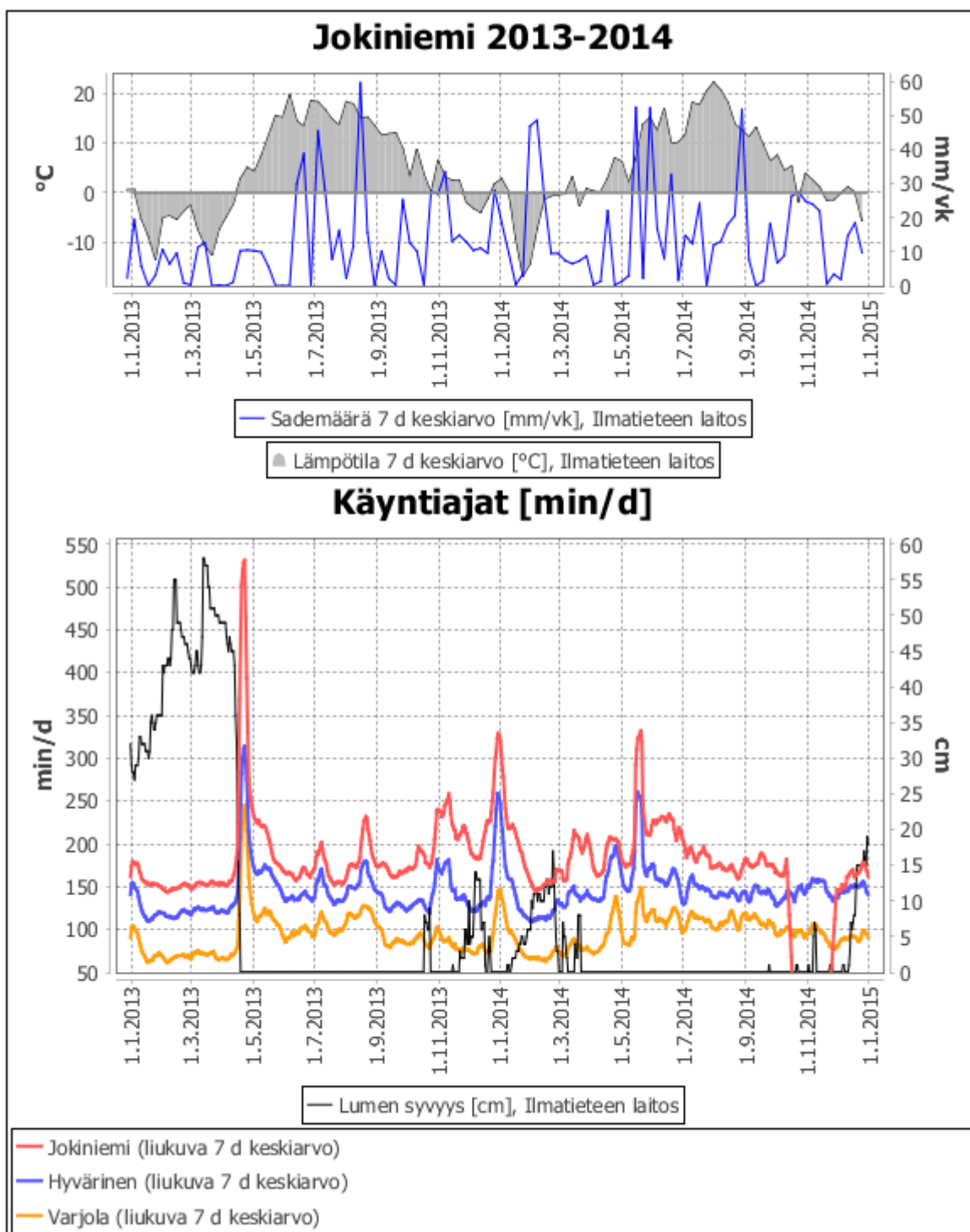
** Vuoden 2014 osalta laskennasta on jätetty pois aikajakso 1.10-31.12.2014

Jokiniemen pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkäyttö on 158 m³/d (taulukko 16). Alueelle johdettavat vedet tulevat Jokiniemen ja Kuusan välillä olevilta asutusalueilta. Jokiniemeä edeltää Hyvärinen pumppaamo. Jokiniemen pumppaamo osa-alue on merkitty kuvan 27 karttaan ja laskutustietojen mukaan 121 m³/d (77 %) pumppaamolle johdettavasta jätevedestä muodostuu tältä osa-alueelta. Vuosien 2013–2014 aikana suurin pumppaamoa kuormittanut tekijä on ollut huhtikuun 2013 lumen sulaminen. Vuotuisella tasolla vuotovesien osuus näyttäisi kuitenkin hyvin pieni.



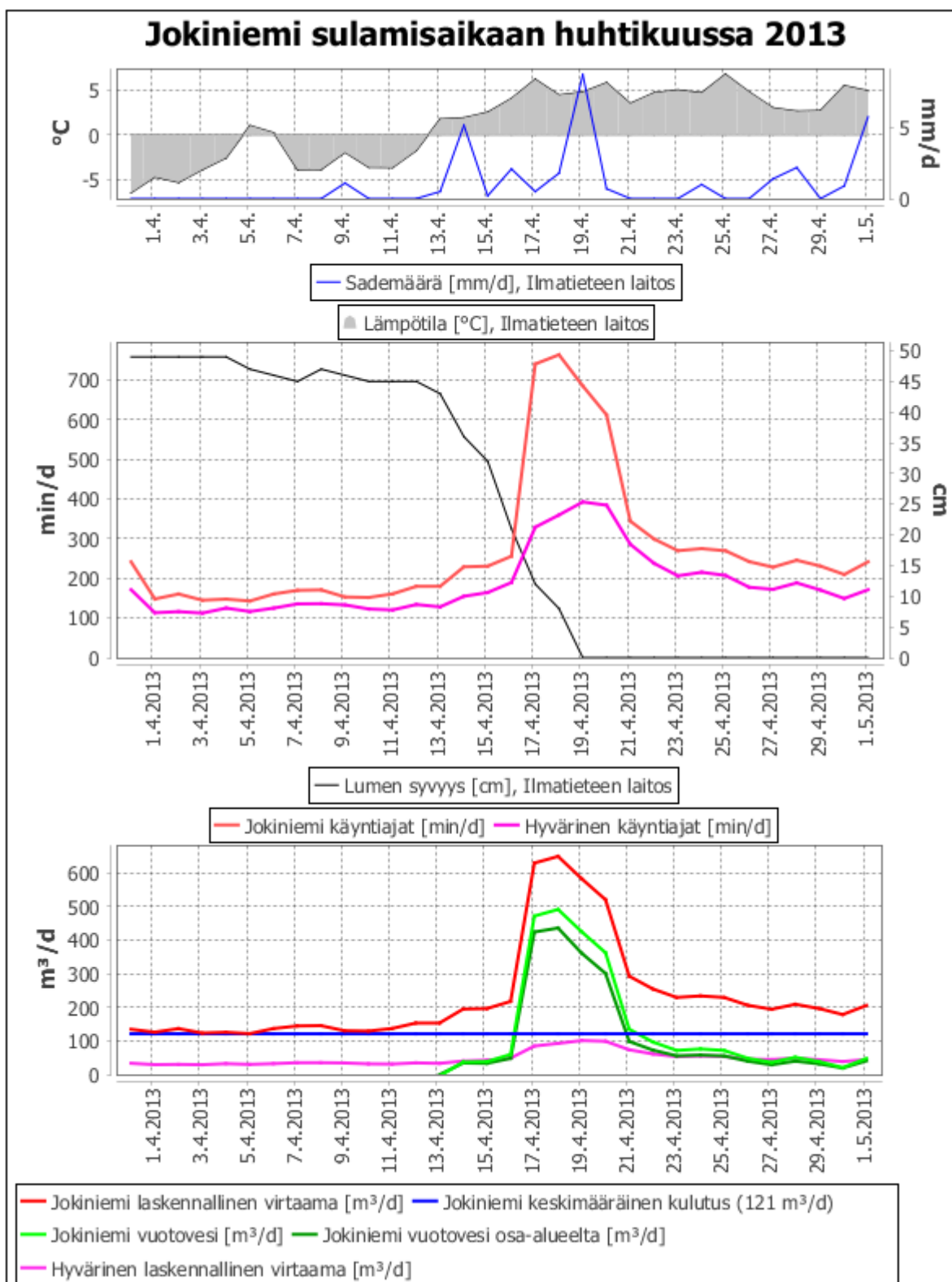
KUVA 27 Jokiniemen pumppaamon osa-alue

Kuviossa 31 on esitetty Jokiniemen, Hyvärisen ja Varjolan pumppaamoiden käyntiaikatiedot vuosina 2013–2014. Vuoden 2014 lokakuun ja marraskuun osalta Jokiniemen pumppaamon käyntiajat pu-
toavat virheellisesti nolnaan. Virhe on huomioitu taulukon 16 tiedoissa. Kaikista kolmesta pumppaa-
moista mitattiin pitkittyneitä pumppujen käyntiaikoja lumen sulamisen aikaan vuoden 2013 huhti-
kuussa ja joulukuussa sekä rankkasateiden aikaan toukokuussa 2014. Osa Jokiniemen pumppaamon
siirtämisistä vuotovesistä muodostuu Hyvärisen pumppaamon valuma-alueelta. Vuotoa on myös ha-
vaittavissa Varjolan pumppaamon valuma-alueelta, Kuusan kylältä.



KUVIO 31 Jokiniemen, Hyvärisen ja Varjolan pumppaamoiden käyntiaikatiedot ja Ilmatieteenlaitok-
sen säähavainnot vuosina 2013–2014

Kuviossa 32 on kuvattu käyntiaikojen ja laskennallisen virtaaman muutoksia Jokiniemen ja Hyvärisen pumppaamoilla lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013. Kuukauden alussa Jokiniemen pumppaamon laskennallinen virtaama vastaa hyvin keskimääräisen vedenkäytön arvoa ($158 \text{ m}^3/\text{d}$). Laskennallisen virtaaman laskennassa Jokiniemen pumpun tuotto on arvioitu olevan $0,85 \text{ m}^3/\text{min}$ ja Hyvärisen $0,26 \text{ m}^3/\text{min}$. Lumen sulaessa virtaama kasvaa jyrkästi ja suurin osa vuotovedestä katsotaan muodostuneen Jokiniemen pumppaamon osa-alueelta. Laskentaa voidaan tarvittaessa tarkentaa, kun pumppujen todelliset tuotot ovat tiedossa tai jos valmista virtaamadataa saadaan käyttöön.



KUVIO 32 Käyntiajat, laskennalliset virtaamat ja säähavainnot huhtikuussa 2013

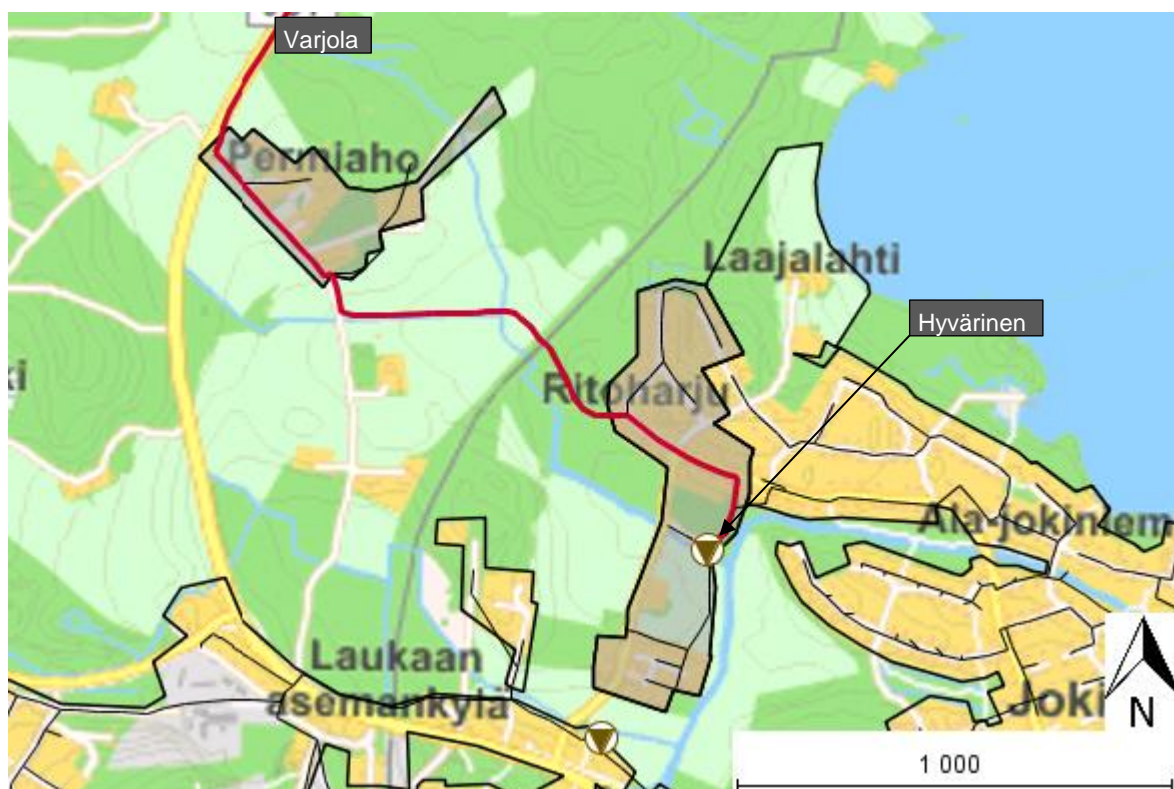
5.15 Hyvärinen

TAULUKKO 17 Hyvärisen pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedet

Pumppaamo: Hyvärinen	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
Verkoston pituus: 6,9 km					15.4.2013-	8.9.2014-
Pumpun tuotto: 0,26 m ³ /min		2012	2013	2014	21.4.2013	14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	40	37	38	80	37
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	37	37	37	37	37
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	3	0	1	43	-0
prosentti	%	8,3	0,1	1,8	53,5	-0,2
johto-osuudella	l/s/km	0,01	0,00	0,00	0,07	-0,00
pumppaamon alueelta	m ³ /d	2	-2	-1	42	-1
Alueelta muodostuneen vuotoveden osuus vuotovedestä	%	-	-	-	-	-
Käyntiaika keskimäärin	min/d	157	144	144	310	144

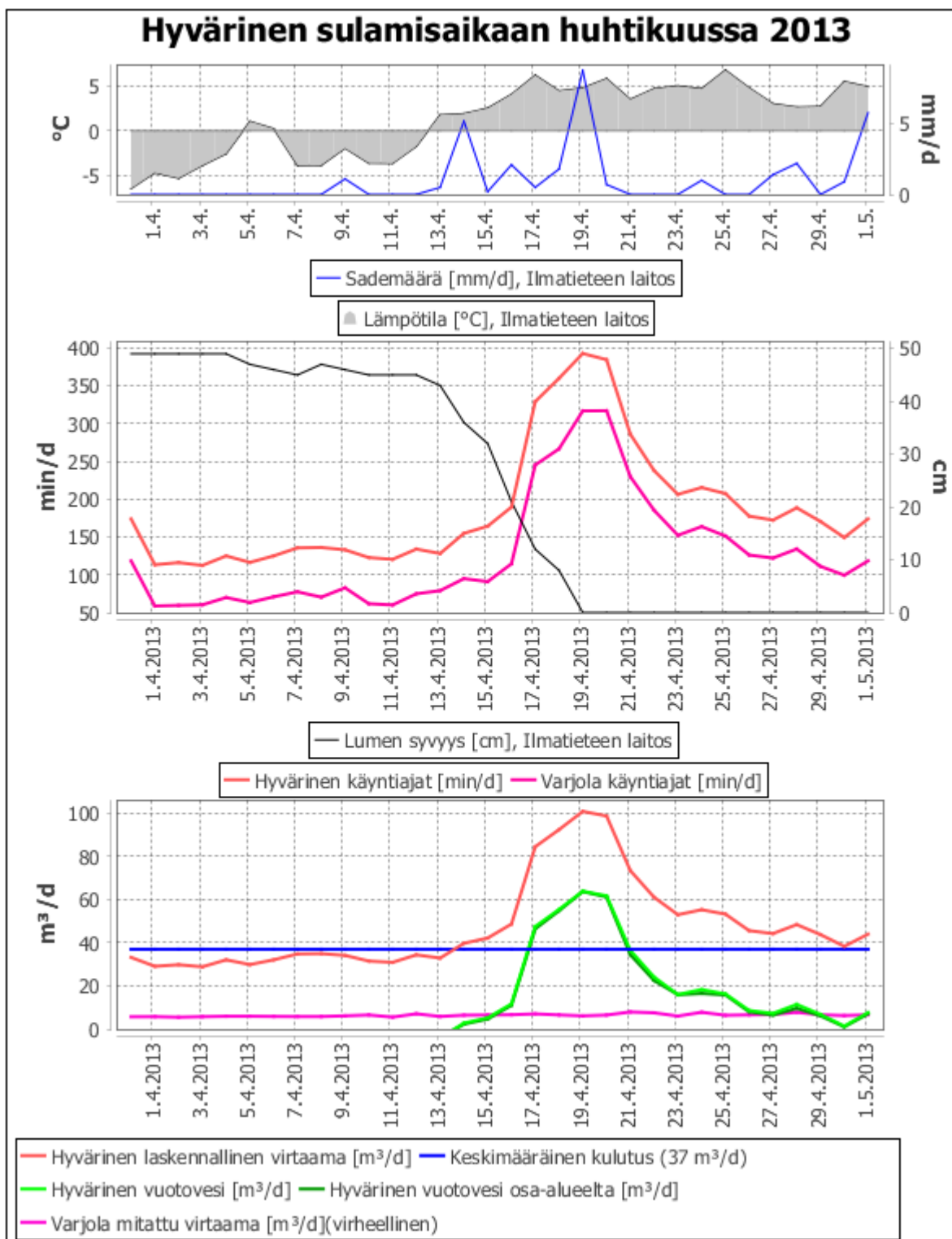
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Hyvärisen pumppaamo siirtää Kuusan, Permiahon ja Ritoharjun alueilta muodostuvia viemäriveresiä. Pumppaamon osa-alueen (kuva 28) keskimääräinen vedenkulutus on noin 31 m³/d (taulukko 17). Osa-aluetta edeltää Varjolan pumppaamo, josta on saatavilla virtaamadataa. Muiden kirkonkylän pumppaamoiden tapaan Hyvärisen pumppaamolla ei ole virtaamamittausta ja virtaamat on tässä työssä arvioitu laskennallisesti. Taulukon 17 tietojen perusteella Hyvärisen pumppaamon alueelta muodostuu vuotuisella tasolla hyvin vähän vuotovesiä. Vuotovettä muodostuu kuitenkin lumen sulamisen ja rankkasateiden seurauksena.



KUVA 28 Hyvärisen pumppaamon osa-alue

Hyvärisen ja Varjolan pumppaamoiden lumen sulamisen aikaiset (huhtikuu 2013) käyntiajat ja virtaamat on nähtävissä kuviossa 33. Hyvärisen pumppaamon virtaama on arvioitu laskennallisesti kaavan 1 avulla, käyttämällä pumpun tuoton arvoa 0,26 m³/d. Vaikka Varjolan pumppaamon virtaama on mitattu, ei se täsmää pumppaamon käyntiaikojen kanssa. Varjolan pumppaamon virtaama on todennäköisesti virheellinen tällä ajanjaksolla. Tästä syystä Hyvärisen pumppaamon osa-alueen vuotovedet ovat todellista suurempia kuviossa 32 ja taulukossa 17 aikajaksolla 15.–21.4.2013.



KUVIO 33 Hyvärisen ja Varjolan pumppaamon käyntiajat sekä virtaamat lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013

5.16 Varjola

TAULUKKO 18 Varjolan pumpaamon virtaamat ja käyntiajat

Pumppaamo: Varjola	Yks.	Vuosittain			Kevät	Kuiva keli
Verkoston pituus: - km					15.4.2013-	8.9.2014-
Pumpun tuotto: -		2012	2013	2014	21.4.2013	14.9.2014
Virtaama keskimäärin	m ³ /d	7	8	7	7	7
Alueen vedenkulutus keskimäärin*	m ³ /d	6	6	6	6	6
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	1	2	1	1	1
Käyntiaika keskimäärin	min/d	92	93	93	237	108

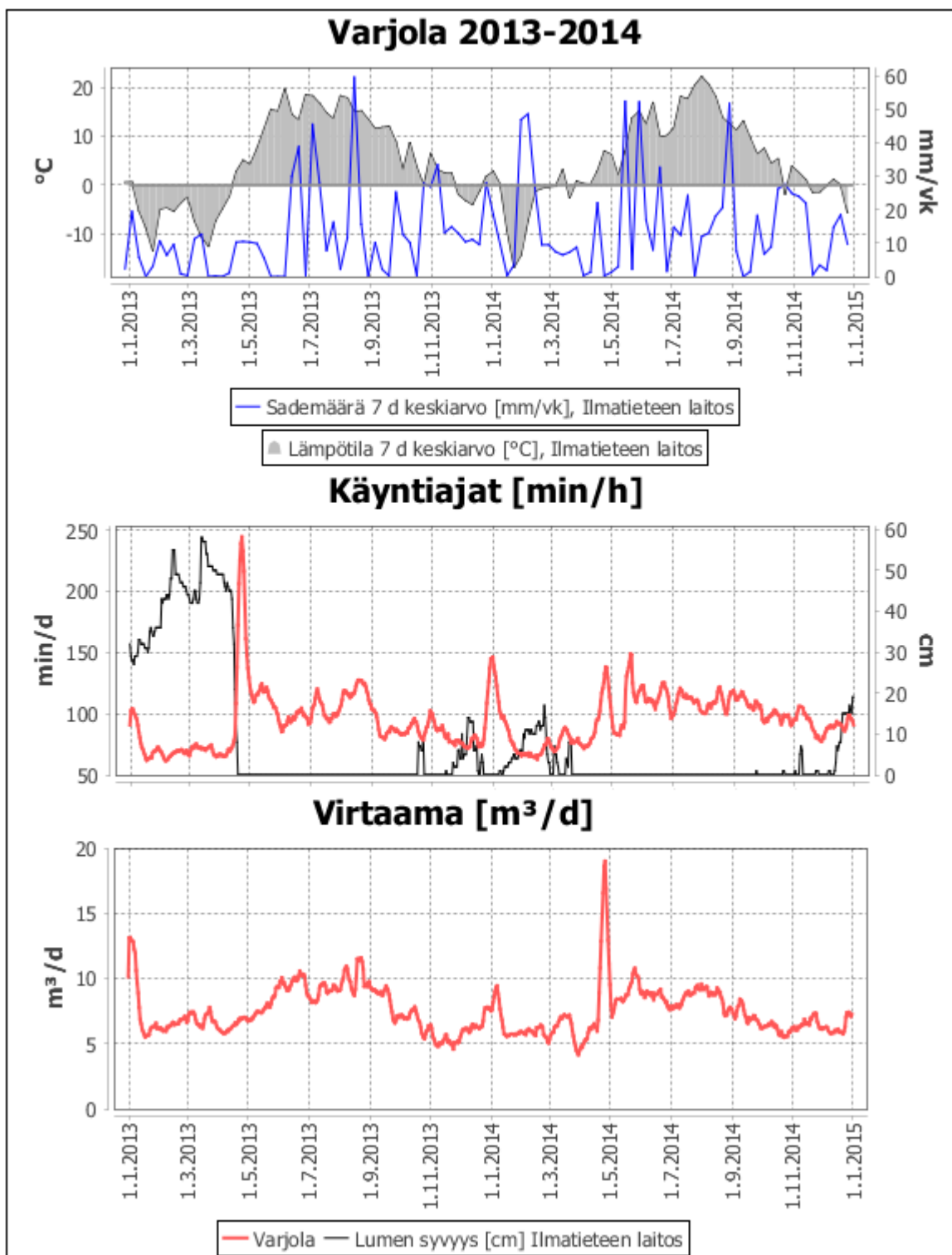
* Vedenkulutus arvioitu virtaaman perusteella

Varjolan pumppaamo ei sisälly tämän vuotovesiselvityksen alueeseen (Laukaan kirkonkylältä Koivukorven pumppaamolle). Alue kuitenkin huomioitiin muissa pumppaamoissa vedenkulutuksen osalta. Alueelta ei saatu vedenkulutustietoja, mutta Varjolan pumppaamon virtaamien perusteella alueen vedenkulutus on vähäistä, arviolta noin 6 m³/d (taulukko 18). Virtaamadataan sisältyy virheitä etenkin lumen sulamisen aikaan huhtikuussa 2013, kuten kuvio 33 kävi ilmi. Pumppaamon käyntiaikojen perusteella alueelta muodostuu vuotovettä (kuvio 33).



KUVA 29 Varjolan pumppaamo

Kuviossa 34 on nähtävillä Varjolan pumppaamon virtaamat ja käyntiajat vuosien 2013–2014 ajalta. Jostain syystä pumppaamon virtaamat eivät ole linjassa käyntiaikojen kanssa. Esimerkiksi huhtikuussa 2014 muodostuneen virtaamapiikin aikaiset käyntiajat ovat huomattavasti lyhyemmät edellisvuoden huhtikuun käyntiaikoihin verrattuna, jolloin vastaavaa virtaaman kasvua ei tapahtunut. Varjolan pumppaamon mitattu virtaama pysyy aina alle $25 \text{ m}^3/\text{d}$ ja jos se pitää paikkansa, ei alueelta tapahtu merkittävää vuotovesien muodostumista.



KUVIO 34 Varjolan pumppaamosta mitatut virtaamat ja käyntiajat vuosina 2013–2014

5.17 Pellosniemi

TAULUKKO 19 Pellosniemen pumppaamon käyntiajat sekä arvioidut virtaamat ja vuotovedit

Pumppaamo: Pellosniemi Verkoston pituus: 2,2 km Pumpun tuotto: 0,19 m ³ /min	Yks.	Vuositain			Kevät	Kuiva keli
		2012	2013	2014	15.4.2013- 21.4.2013	8.9.2014- 14.9.2014
Virtaama keskimäärin*	m ³ /d	32	36	31	58	30
Alueen vedenkulutus keskimäärin	m ³ /d	30	30	30	30	30
Vuotovesi keskimäärin	m ³ /d	2	6	1	28	-0
prosentti	%	7,3	17,5	4,0	48,4	-0,0
johto-osuudella	l/s/km	0,01	0,03	0,01	0,14	-0,00
Käyntiaika keskimäärin	min/d	170	191	191	306	158

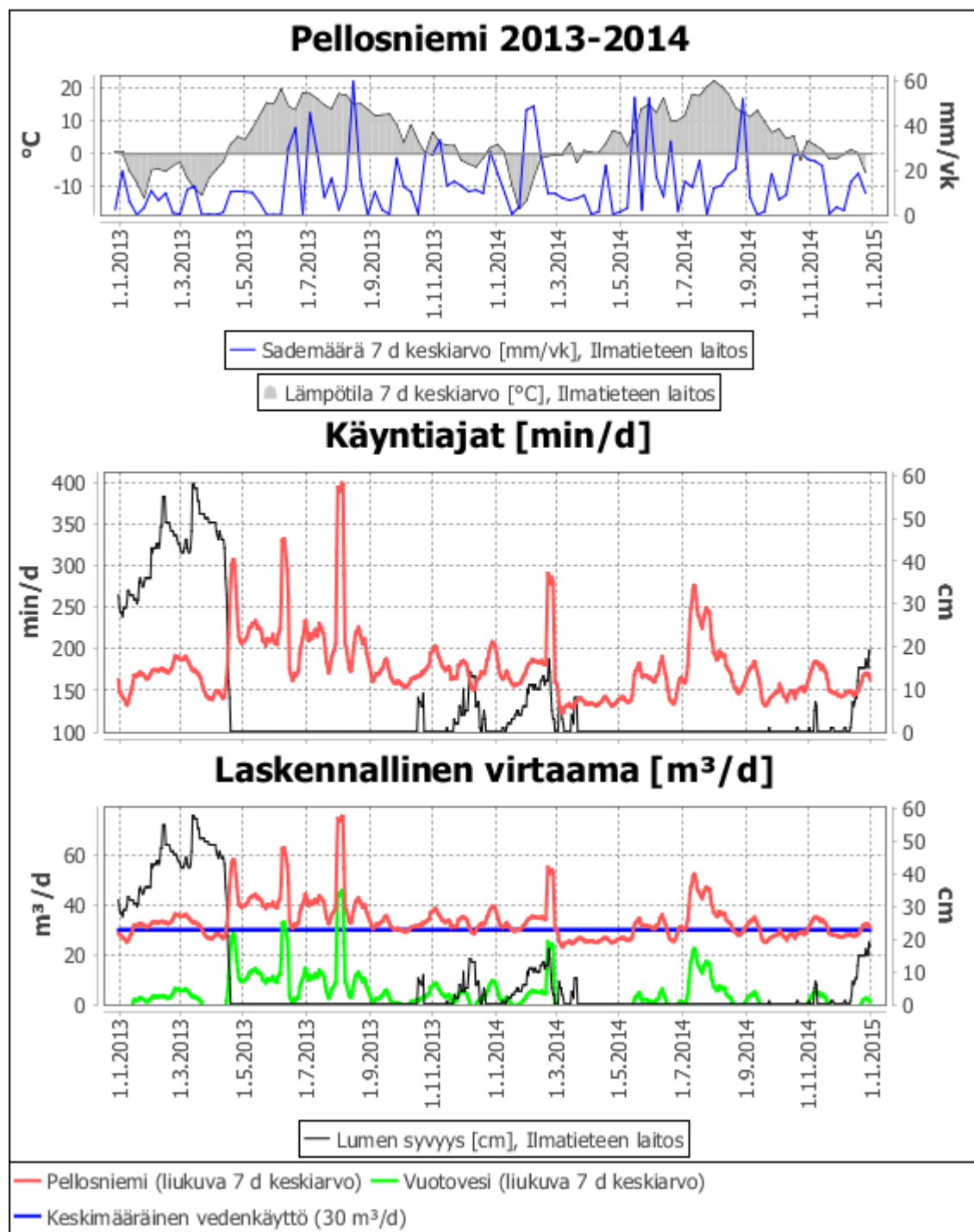
*Virtaamadataa ei käytössä. Virtaama [m³/d] on laskettu käyntiajan [min/d] ja pumpun arvioidun tuoton [m³/min] tulona. Pumpun tuotto [m³/min] on arvioitu keskimääräisen kulutuksen [m³/d] ja kuivan kelin keskimääräisen käyntiajan [min/d] osamääränä.

Pellosniemen pumppaamo siirtää Pellosniemen alueelta muodostuvia viemäriveresiä kohti Ritolahten pumppaamoa (kuva 30). Pumppaamoalueella on satama-alue, jonka yhteydessä on viemäriverkoston kytketty matonpesupaikka. Pellosniemen pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus on 30 m³/d. Taulukon 19 virtaamat ja vuotovedit on laskettu keskimääräiseen kulutukseen ja kuivan kelin käyntiaikoihin perustuen. Tästä syystä kuivan kelin vuotovesien osuus näyttää olevan nollassa. Pumppaamon käyntiajat eivät kuitenkaan putoa nolnaan kuivana ajanjaksona yöaikaan (liite 1), mikä voisi johtua tasaisesta, pohjaveden alapuolella olevasta vuodosta. Koska kuivan kelin käyntiajat eivät kuvaa täysin vuodotonta aikajaksoa, näkyy pumpun arvioitu tuotto todellista pienempänä pidettyneiden käyntiaikojen myötä.



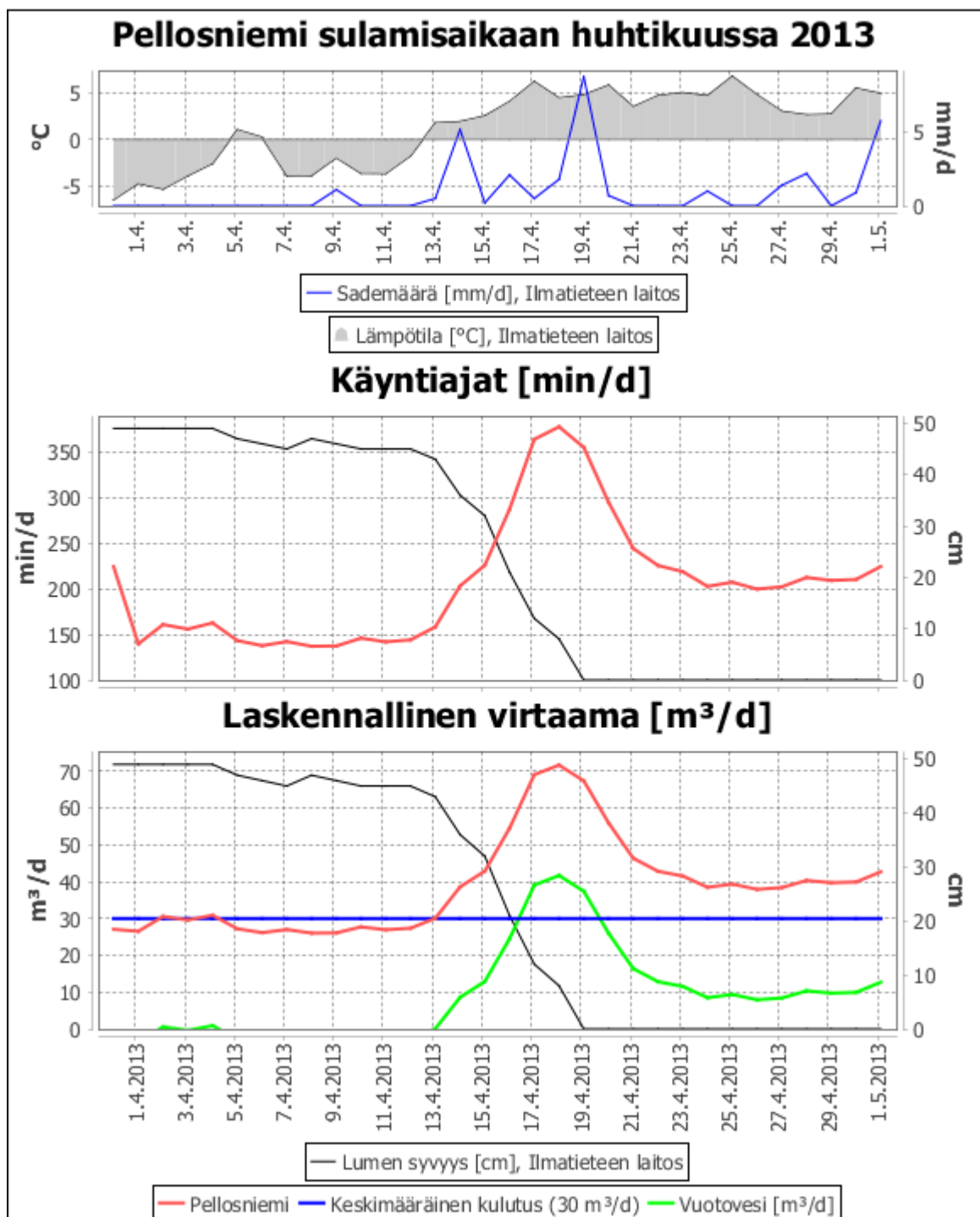
KUVA 30 Pellosniemen pumppaamon osa-alue

Pellosniemen pumppaamon käyntiajat ja laskennalliset virtaamat vuosina 2013–2014 on esitetty kuviossa 35. Kesäisin mitatuilla, yli 250 min/d käyntiaikapiikeillä ei näyttäisi olevan yhteyttä sadannan kanssa. Lumen sulamisella voi olla vaikutusta pumppaamon käyntiaikoihin. Maaliskuun 2014 osalta käyntiajat nousevat jo muutama päivä ennen Ilmatieteen laitoksella mitattua lumen sulamista. Osa käyntiaikapiikeistä sijoittuu hellejaksojen ajalle, mikä voisi olla seurausta esimerkiksi matonpesupaikan runsaasta käytöstä, eikä niinkään vuotovesistä.



KUVIO 35 Pellosniemen pumppaamon käyntiajat ja laskennalliset virtaamat sekä Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosina 2013–2014

Kuviossa 36 on nähtävissä Pellosniemen pumpptaamon käyntiajat ja laskennalliset virtaamat vuoden 2013 huhtikuussa. Lumen sulamisen johdosta pumpptaamon käyntiajat nousevat 150 min/d:stä yli 350 min/d:n. Arvioidulla pumpun tuotolla (0,19 m³/min) tämä vastaa noin 40 m³/d nousua virtaamassa. Aikajaksolla 15.–21.4.2013 pumpptaamon alueelta muodostui vuotovettä keskimäärin 28 m³/d, joka on vain murto-osa Kuhankosken pumpptaamon vuotovesistä (1 830 m³/d) vastaavana aikajaksona.



KUVIO 36 Pellosniemen pumpptaamon käyntiajat ja laskennalliset virtaamat huhtikuussa 2013.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

TAULUKKO 20 Keskimääräiset virtaamat ja vuotovedet viidellä pumppaamolla vuonna 2014

Pumppaamo	Virtaama keskimäärin [m ³ /d]	Keskimääräinen vedenkulutus [m ³ /d]	2014		
			Vuotovesi [m ³ /d]	Vuotovesi [%]	Vuotovesi osa-alueelta [m ³ /d]
Koivukorpi	2 530	1 842	688	27,2 %	1
Leppävesi	2 529	1 842	687	27,2 %	115
Nammo	604	-	-	-	-
Vihtavuori	1 528	955	573	37,5 %	184
Kuhankoski	1 142	753	389	34,1 %	-

Vuotovesiselvityksen tarkoituksena oli löytää Laukaan kirkonkylän, Vihtavuoren ja Leppäveden viemäriverkoston vuotavat alueet ja luokitella ne vuotavuuden perusteella. Vuotovesiselvitys perustui pumppaamoiden virtaama- ja käyntiaikatietojen (2012–2014), talousveden laskutustietojen (2014) ja Ilmatieteenlaitoksen säähavaintojen (2013–2014) vertailuun. Työtä varten käsittelyyn valittiin yhteensä 17 pumppaamoa. Pumppaamoista viidestä oli saatavilla vain pumppaamon virtaamatiedot, 11:sta vain pumppujen käyntiaikatiedot ja yhdestä sekä virtaama, että käyntiaikatiedot (Varjolan pumppaamo). Talousveden laskutustietojen mukaan Nammon pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus oli alle 1 m³/d, ja pumppaamon valuma-alueella sijaitsevan räjähdetehtaan arveltiin ottaneen prosessivetensä läheisestä järvestä. Laskutustietojen puutteen vuoksi Nammolta lähteviä virtaamia käsiteltiin alemmissa pumppaamoissa (Leppävesi ja Koivukorpi) laskutetun vedenkäytön tapaan. Varjolan pumppaamon valuma-alueen keskimääräinen vedenkulutus (noin 6 m³/d) arvioitiin likimääräisesti pumppaamon virtaamatiedoista.

Taulukossa 20 on kooste vuoden 2014 virtaamista, keskimääräisistä vedenkulutuksista ja vuotovesistä niiden pumppaamoiden osalta, joista oli saatavilla mitattua virtaamatietoa (pl. Varjola). Pumppaamoista Kuhankoski siirtää viemäriverdet Vihtavuoren pumppaamolle, Vihtavuori ja Nammo Leppäveden pumppaamolle ja Leppävesi edelleen Koivukorven pumppaamolle. Koivukorven ja Leppäveden pumppaamoiden välillä ei havaittu olevan vuotoa, koska pumppaamoiden virtaamat olivat yhtenevät (taulukko 20, kuvio 6). Vuonna 2014 vuotovesiprosentti Leppäveden pumppaamolla oli 27,2. Vuotovettä kertyi viemäriin Leppäveden osa-alueelta (kuva 15) keskimäärin 115 m³/d, joka on noin 17 % koko tutkimusalueen vuotovesistä. Vuonna 2014 vuotovesiprosentti Vihtavuoren pumppaamolla oli 37,5 (vuotovettä keskimäärin 573 m³/d). Vuotovedestä Vihtavuoren pumppaamon osa-alueelta (kuva 17) kertyi keskimäärin 184 m³/d, joka oli noin 27 % koko tutkimusalueen vuotovesistä. Kuhankosken pumppaamon vuotovesiprosentti vuonna 2014 oli 34,1 (vuotovettä keskimäärin 389 m³/d), ja pumppaamon valuma-alueelta (kuvat 18–30) muodostuneen vuotoveden osuus koko tutkimusalueen vuotovesistä oli noin 56 %. Koska Kuhankosken yläpuolisista pumppaamoista ei ollut saatavilla virtaamadataa, arvioitiin vuotavat alueet pumppaamoiden käyntiaikoihin perustuen. Samasta syystä johtuen Ritolahden ja Kuhankosken välillä olevan paineviemäriin vuotavuut-ta/vuotamattomuutta ei voitu tarkistaa.

TAULUKKO 21 Pumppaamoiden käyntiajat Ritolahden pumppaamon valuma-alueella lumen sulamis-aikaan (15.–21.4.2013) ja kuivan kelin aikaan (8.–14.9.2014). Sarakkeiden kolme suurinta on merkitty punaisella fontilla.

Pumppaamo	Käyntiaika keskimäärin [min/d]		Käyntiaikojen muutos [%] $\frac{\text{Sulamis aika min/d}}{\text{Kuiva keli min/d}} * 100\%$
	Kevät 15.4.2013- 21.4.2013	Kuiva keli 8.9.2014- 14.9.2014	
Ritolahti	1 805	468	385 %
Laaksopolku	461	158	292 %
Tyvelä	147	104	141 %
Rajamäki	181	67	270 %
Esso	599	211	282 %
Natri	491	172	284 %
Toramäki	169	103	162 %
Laukaan puu	739	69	1 072 %
Jokiniemi	526	187	281 %
Hyvärinen	311	144	215 %
Varjola	237	108	219 %
Pellosniemi	306	158	193 %

Ritolahden valuma-alueella pumppaamoiden (12 kpl) vuotavuuden arviointi perustui lumen sulamisajan (15.–21.4.2013) ja kuivan sääjakson (8.–14.9.2014) käyntiaikojen vertailuun (taulukko 21). Suurimmat käyntiaikapiikit mitattiin Ritolahden pumppaamolla, jossa vuoden 2013 huhtikuussa mitattiin yli 1 440 min/d suuruisia käyntiaikoja viiden vuorokauden ajan (kuvio 18). Käyntiaikojen ylitäessä rajan 1 440 min/d, on pumppaamon pumppujen yhtäaikaista käyntiä varmuudella tapahtunut. Ritolahden pumppaamolta mitattiin myös selkeästi suurimmat kuivan ajanjakson käyntiajat (486 min/d). Virtaamatietojen puuttuessa on kuitenkin vaikea sanoa, muodostuuko vuotovettä Ritolahden pumppaamon osa-alueelta (kuva 19), vai onko korkeat käyntiajat vain seurausta ylempien pumppaamoiden virtaamista. Ritolahden pumppaamolle viemärivettä siirtäneistä viidestä pumppaamosta kolmessa (Jokiniemi, Esso, Laaksopolku) mitattiin yli 500 min/d suuruisia käyntiaikapiikkejä lumen sulamisen aikaan (kuvio 18).

Laaksopolun pumppaamolla lumen sulamisaikaan mitatut, yli 500 min/d käyntiajat (normaalisti noin 150 min/d), eivät juuri näkyneet edeltäneellä Tyvelän pumppaamolla, jonka käyntiaikojen muutokset olivat pumppaamoista vähäisimmät (taulukko 21). Tyvelän pumppaamon valuma-alueelta katsottiin muodostuneen vuotovettä vain vähän ja Laaksopolun valuma-alueen vuodot rajautuivat pääasiassa Laaksopolun osa-alueeseen (kuva 20). Rajamäen pumppaamon käyntiajat näyttivät reagoineen lumen sulamiseen ja rankkasateisiin (taulukko 21, kuvio 22).

Esson pumppaamon käyntiaikojen muutos (282 %) vastaa Natriin pumppaamon käyntiaikojen muutosta, ja voi olla, ettei pumppaamoiden väliltä muodostuisi merkittävästi vuotovesiä (taulukko 21). Natriin pumppaamon valuma-alueen selkeästi korkeimmat käyntiajat mitattiin Laukaan puun pumppaamolla (15.–21.4.2013), jossa käyntiajat nousivat 4 vuorokauden ajaksi yli 800 min/d (normaalisti alle 100 min/d, kuvio 28).

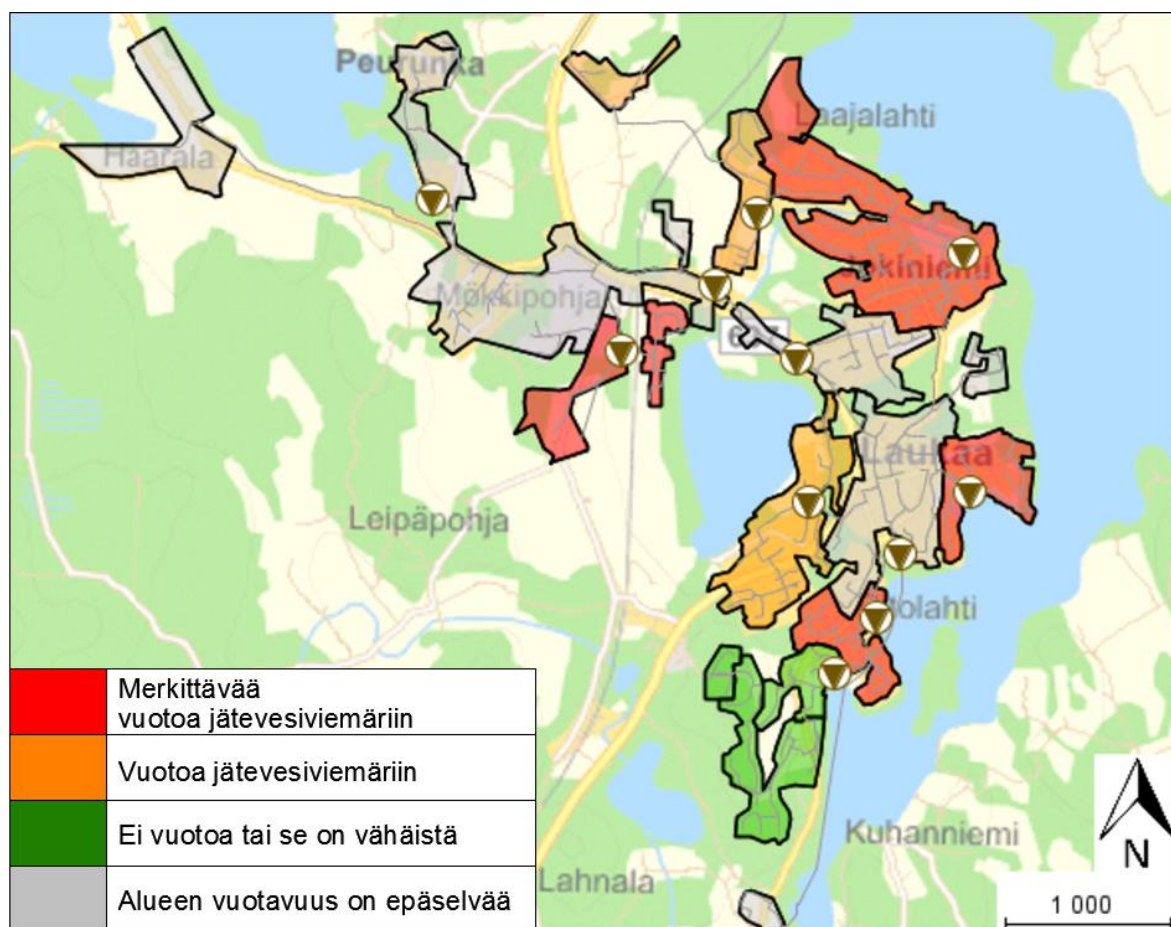
Vuoto Laukaan puun alueelta on yksi osatekijä Natrin, Esson ja Ritolahden pumppaamoilla mitattuihin korkeisiin käyntiaikoihin aikajaksolla 15.–21.4.2013. Myös Toramäen pumppaamolta mitattiin käyntiaikojen nousuja (noin 100 min/d:n lisäys normaaliin), mutta nousut tapahtuivat pääosin eri aikoihin, mitä Jokiniemen tai Laaksopolun pumppaamoilla (kuvio 30). Toramäen pumppaamon käyntiajat eivät myöskään näyttäneet reagoivan rankkasateisiin. Toramäen pumppaamo siirtää muun muassa Peurungan kylpylän jätevesiä ja käyntiaikojen vaihtelut voisivat olla peräisin vedenkulutuksen vaihteluista. Vuotoveden muodostumisesta Natrin pumppaamon alueelta ei saatu selvyyttä.

Jokiniemen pumppaamon valuma-alueella suurimmat vuodot arvellaan olevan Jokiniemen pumppaamon osa-alueella (kuva 27), koska lumen sulamisaikaan Jokiniemeä edeltäneiden Hyvärisen ja Varjolan pumppaamoiden käyntiaikojen nousut (215–220 %) olivat Jokiniemen pumppaamo (281 %) vähäisempiä (kuvio 32). Käyntiaikojen perusteella vuotovesillä oli kuitenkin vaikutusta Hyvärisen ja Varjolan pumppaamoihin, joissa käyntiajat kaksinkertaistuvat lumen sulamisen aikaan kuivan ajanjakson arvoista (taulukko 21, kuvio 33). Pellosniemen pumppaamolla käyntiaikojen muutokset lumen sulamisajan ja kuivan ajanjakson välillä olivat vähäisiä muihin pumppaamoihin verrattuna.

Ritolahden pumppaamon valuma-alueen pumppaamoiden käyntiaikoja tarkasteltiin myös helteisenä ajanjaksona (8.9.–14.9.2014), jossa huomiota kiinnitettiin pumppaamoiden yöaikaisiin käyntiaikoihin pohja- ja pintavedestä johtuvien tasaisten vuotojen paikallistamiseksi. Ritolahden yläpuolisten pumppaamoiden käyntiajat kuivan ajanjakson aikaan ja ennen lumensulamisaikaa on nähtävissä liitteessä 1. Korkeita pumppujen käyntiaikoja yöaikaan mitattiin Pellosniemen pumppaamolla, jossa pumput olivat käynnissä vähintään 3 min/h kuivan sääjakson aikaan (kuvio 37, Liite 1). Toramäen pumppaamon ja sen alapuolisten pumppaamoiden (Natri, Esso) käyntiajat olivat noin 2 min/h:n suuruisia vastaavana aikajaksone yöaikaan (liite 1). Koko kirkonkylän alueen tasainen vuoto näkyi Ritolahden pumppaamolla noin 4–5 min/h:n suuruisina yöllisinä käyntiaikoina aikajaksolla 8.9.–14.9.2014 (kuvio 19, liite 1). Jos Ritolahden pumpun tuotto (1,72 m³/min) pitää paikkansa, on tasainen vuodon suuruus arviolta noin 60 m/d (2,5 m³/h).

Yhteenvedona, Laukaan kuntaan tehty vuotovesiselvitys paikallisti osan viemäriverkoston vuotavista alueista (Laukaan puu, Laaksopolku, Jokiniemi ja Pellosniemi, kuva 31). Vastaavasti vähiten vuotaviksi alueiksi paljastuivat Koivukorven ja Tyvelän osa-alueet. Ongelmalliseksi työssä osoittautuivat laajat, viettoviemäröidyt pumppaamoalueet, joita olivat Leppäveden ja Vihtavuoren pumppaamoiden osa-alueet. Näillä osa-alueilla voitaisiin tehdä tarkempia vuotovesiselvityksiä, jotka tehtäisiin esimerkiksi siirrettäviä virtaamamittareita ja pienempien pumppaamoiden käyntiaikatietoja hyödyntäen. Työssä haasteelliseksi osoittautui lisäksi Laukaan kirkonkylän alueen pumppaamot, joista ei ollut saatavilla virtaamatietoa. Jotta Laukaan kirkonkylän valuma-alueen vuotovesistä saataisiin parempi käsitys tulevaisuudessa, olisi joihinkin Ritolahden yläpuolisiin pumppaamoihin suositeltavaa asentaa kiinteitä virtaamamittareita (esim. Ritolahden, Esson ja Jokiniemen pumppaamoihin). Virtaamatiedon lisäksi pumppaamoiden pumppujen malli- ja tyyppitiedot sekä pumppaamoiden korkotiedot olisivat olleet työn kannalta hyödyllisiä. Vuotovesiselvitystä voidaan myöhemmin päivittää (tai jopa laajentaa), kun pumppaamoiden korkotiedot sekä pumppujen malli- ja tyyppitiedot ovat selvillä.

Toisaalta vaikka pumppujen tuotot olisivat olleet tiedossa, ei pumppujen yhtäaikaisesta käynnistä johtuvaa laskennallisen virtaaman (kaava 1) ylimitoitumista voida täysin estää (kuten Ritolahden pumppaamolla). Tästä syystä pumppaamossa tai kaivon kautta mitattu virtaamadata olisi vuoto- vesiselvityksen kannalta erityisen hyviä tietolähteitä. Virtaama- ja käyntiaikatiedon mittausvälissä oli myös kehittämisen varaa. Selvityksen haasteena oli osaltaan harva mittausväli (1 h), jonka perusteella ei voida täysin eritellä kahden pumpun yhtäaikaista käynnin aikajaksoja. Käyntiaikojen ylittäessä yli 60 min/h:n, on pumppujen yhtäaikaista käyntiä varmuudella tapahtunut, mutta yhtäaikaista käyntiä on voinut tapahtua, kun käyntiajat ovat olleet alle 60 min/h.



KUVA 31 Arvio Laukaan kirkonkylän viemäriverkoston vuotavista alueista

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ELINKEINO-, LIIKENNE- JA YMPÄRISTÖKESKUS. 2010. Keski-Suomen maakunnan strateginen vesihuollon kehittämissuunnitelma vuosille 2009–2020 [verkkoaineisto]. Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 3/2010. [Viitattu 2015-3-23]. Saatavissa: <https://ymparisto.fi>
Polku: Ymparisto.fi. Vesi. Vesien käyttö. Vesihuolto. Vesihuolto - Keski-Suomi.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2010. Storm Water Management Model Users Manual Version 5.0 [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-20] Cincinnati: OH. Saatavissa: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100ERK4.pdf>

FCG. 2015. FCG vuosikertomus 2014. Helsinki: Topnova Oy. Saatavissa: <http://fcg.fi/>

Polku: Fcg.fi. Ajankohtaista. Julkaisut. FCG vuosikertomukset. FCG vuosikertomus 2014.

Fcg.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-05-04] Saatavissa: <http://www.fcg.fi>

Polku: Fcg.fi. Palvelut. Vesihuollon suunnittelu. FCGsmart.

FCGSMART. Mahti - Vesihuollon kokonaisuuden hallinta ja analysointi [verkkoaineisto]. 2015 [viitattu 2015-05-12]. Saatavissa: <http://fcgsmart.fi/>

Polku: Fcgsmart.fi. Ajankohtaista. FCG:n Smart-tuotteet vesihuoltopäivillä. FCGMahti.

FORSS, Annukka (toim.). 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteet. Helsinki: Vesi- ja viemärilaitosyhdistys.

HÄKKINEN Ville. 2013. Varkauden kaupungin viemäriverkoston vuotovesitutkimus. Savonia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2015-06-05]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201303193455>

Ilmatieteenlaitos.fi. Miten säätä havainnoidaan Ilmatieteen laitoksessa? [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-05-20] Saatavissa: <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/>

Polku: Ilmatieteenlaitos.fi. Teematietoa. Tekniikka ja menetelmät. Säähavainnot.

ILMATIETEEN LAITOS. 2013, 2014. Sääaseman mittausdata 2013 ja 2014. Jyväskylän lentoasema. [viitattu 2015-04-24] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/>

Polku: Ilmatieteenlaitos.fi. Avoin data. Aineistot.

JUUTI, Petri, KATKO, Tapio, RAJALA, Riikka. 2010. Metropoli ja meri: 100 vuotta jätevedenpuhdistusta Helsingissä. Helsinki: Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Saatavissa:

<http://urn.fi/urn:isbn:978-952-6604-09-1>

Kingcounty.gov [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-06-05] Saatavissa: <http://www.kingcounty.gov/>
Polku: Kingcounty.gov. Departments. Waste Water Treatment Division. Environmental programs. Regional I/I control program. What is infiltration/inflow (I/I)?

LAKI VESIHUOLTOLAIN MUUTTAMISESTA 2014/681, 15 § [verkkoaineisto].

Saatavissa: <http://www.finlex.fi/>

Polku: Finlex.fi. Lainsäädäntö. Säädökset alkuperäisinä. Vuosi 2014. 681/2014.

Laukaa.fi. 2014. Laukaa - kasvava kunta keskellä Keski-Suomea. Kunnan yleisesittely ja tilastokatsauksen yhteenveto [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-04-16] Saatavissa: <http://www.laukaa.fi>

Polku: Laukaa.fi. KuntaINFO. Tilastot. Laukaan tilastokatsaus.

Laukaa.fi. 2015.Vesi- ja viemärlaitos [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-02-23] Saatavissa:

<http://www.laukaa.fi/>

Polku: Laukaa.fi. Palvelut. Tekniset palvelut. Vesi- ja viemärlaitos.

MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ. 2008. Vesihuoltoverkoston nykytila ja saneeraustarve. YVES -tutkimuksen päivitys 2008 [verkkajulkaisu]. FCG Planeco Oy. [viitattu 2015-03-25] Saatavissa:

<http://www.mmm.fi>

Polku: mmm.fi. Vesivarat. Vesihuolto.

MOTIVA. 2015. Vedenkulutus [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-04-16] Saatavissa:

<http://www.motiva.fi/>

Polku: Motiva.fi. Koti ja asuminen. Mihin energiaa kuluu. Vedenkulutus.

MML. 2015. Taustakarttasarja [verkkoaineisto]. Laukaan kunta. [viitattu 2015-05-04] Saatavissa:

<http://paikkatietoikkuna.fi/>

Polku: Paikkatietoikkuna.fi. Karttaikkuna. Laukaa.

PÖYRY FINLAND OY. 2011. Verkostosaneerausten vaikuttavuuden arviointi. HSY Vesi, Tampereen Vesi, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys [verkkajulkaisu]. [viitattu 2015-03-25] Saatavissa:

http://www.vvy.fi/kehittamisrahasto/yh_vanhat_ei_saa_poistaa/verkostot/verkostosaneerausten_vai_kutusten_arviointi

SUNELA, Markus. 2015-02-19. Jätevesiviemäriverkoston verkostomallinnus [työohjelman runko].

Helsinki: FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy.

VESI- JA VIEMÄRILAITOSYHDISTYS. 2005. Viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohje. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys

VESIHUOLTO I: RIL 124-1-2003. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

VESIHUOLTO II: RIL 124-2-2004. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

VESIHUOLTOLAKI 2001/119, 1 § [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://finlex.fi>

Polku: Finlex.fi. Lainsäädäntö. Ajantasainen lainsäädäntö. Vuosi 2001. 9.2.2001/119.

VESIHUOLTOVERKKOJEN SUUNNITTELU: RIL 237-1-2010. Perusteet ja toiminnallisuus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

VESIHUOLTOVERKKOJEN SUUNNITTELU: RIL 237-2-2010. Mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

VESILAITOSYHDISTYS. 2013. Viemärikaivojen kuntotutkimusohje. Helsinki: Vesilaitosyhdistys.

VESILAKI 2011/587, 1 § [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://finlex.fi>

Polku: Finlex.fi. Lainsäädäntö. Ajantasainen lainsäädäntö. Vuosi 2011. 27.5.2011/587.

YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI 2014/527, § 1 [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://finlex.fi>

Polku: Finlex.fi. Lainsäädäntö. Ajantasainen lainsäädäntö. Vuosi 2014. 27.6.2014/527.

LIITE 1: PUMPPAAMOIDEN KÄYNTIAJAT KUIVAN SÄÄJAKSON (8.-14.9.2014) JA PAKKASJAKSON AIKAAN (5.-12.4.2013)

