

Panu Immonen

PURKAUTUMISKÄYRÄN MÄÄRITTÄMI- NEN URPOLANJOELLE

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Panu Immonen
Työn nimi	Purkautumiskäyrän määrittäminen Urpolanjoelle
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Waterplus – Vesistöjen puhtautta uusin menetelmin -hanke
Vuosi	2023
Sivut	52 sivua, liitteitä 10 sivua
Työn ohjaaja	Juho Rajala

TIIVISTELMÄ

Urpolanjoki virtaa Etelä-Savossa Mikkelin keskustan läheisyydessä. Jokea muokattiin syksyllä ja talvella 2022, jolloin joesta purettiin patoja, uoma muokattiin ja rakennettiin kalatiet, jolloin vaelluskalojen olisi mahdollista nousta joen virtauspaikoille. Muokkaustöille Mikkelin kaupunki haki luvan Itä-Suomen aluehallintovirastolta. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli muodostaa purkautumiskäyrä Urpolanjoelle, koska muokkaustyöt ovat voineet muuttaa joen virtauksia, vaikkakin Itä-Suomen aluehallintaviraston lupapäätöksessä virtausten oli pitänyt pysyä samana. Opinnäytetyö tehtiin osana Waterplus – Vesistöjen puhtautta edistämässä uusin menetelmin -hanketta.

Purkautumiskäyrä muodostuu veden virtaaman suhteutettuna veden korkeuteen. Purkautumiskäyrän avulla voidaan jatkossa tietää veden virtaama pelkästään veden korkeus tietämällä. Purkautumiskäyrää voidaan hyödyntää mm. vesirakentamisessa ja luonnonsuojelussa.

Päämenetelmänä virtaamamittauksille purkautumiskäyrää varten suoritettiin kannettavalla Flow Tracker 2 -virtaamamittarilla, mutta luotettavuutta haettiin suorittamalla mittauksia myös suolapulssimenetelmällä sekä vertailemalla saatuja virtaamamittauksia WSFS Vemalan ennusteisiin ja ELY-keskuksen suorittamiin OTT MF Pro -virtaamamittarin tuloksiin. Vedenkorkeuden mittamiseen käytettiin Urpolanjoessa sijaitsevaa vedenkorkeusmittapaalua, josta vanhat korkeusmittauksetkin Urpolanjoelle ovat suoritettu.

Virtaamamittauspaikaksi valittiin Urpolan luontokeskuksen takana sijaitsevan sillan alajuoksun puoli. Mittaukset suoritettiin kevään ja kesän 2023 aikana. Flow Tracker 2:lla mittauskertoja kertyi 12 kappaletta. Mittauspaikan sekä mitausten suorittamiseen käytettiin standardia, joka ohjeistaa virtaaman suoritusta ja mittauspakkaa (SFS-EN ISO 748: 2021). Mittaukset pyrittiin aloittamaan heti kevään 2023 lumien sulamisien alettua sekä saamaan kiinni ylivirtaaman ajankohdasta sekä myös saada vielä mittaus virtaamien laskettua keuhällä 2023.

Saatujen vedenkorkeus- ja virtaamamittausten avulla saatiin muodostettua Urpolanjoelle uusi purkautumiskäyrä. Purkautumiskäyrän virtaamat ovat laskeutuneet aikaisemmista virtaamamittauksista, paitsi käyrän lähestyessä alivirtaamaa, jossa virtaama oli taas noussut vanhoihin tuloksiin verrattuna. Tuloksia tukivat suolapulssimittaukset ja ELY-keskuksen tekemät virtaamamittaukset.

Asiasanat: Urpolanjoki, purkautumiskäyrä, virtaamamittaus, suolapulssi

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Panu Immonen
Thesis title	Forming discharge curve for River Urpolanjoki
Commissioned by	South-Eastern University of Applied Sciences - Waterplus Project
Time	2023
Pages	52 pages, 10 pages of appendices
Supervisor	Juho Rajala

ABSTRACT

The river Urpolanjoki flows near Mikkeli in South Savo. The river was modified: dams were taken down, fishways were built and the riverbed was shaped. This will help migratory fish to swim to flow sites. Construction operations took place in autumn and in the winter of 2022. For the site Mikkeli city applied permissions from Regional State Administrative Agency for Eastern Finland. These modifications could change stream flows in the river. This thesis researched the water flows and the water levels to form a discharge curve for Urpolanjoki. The thesis was part of a Waterplus - New methods to promote water purity – project.

The discharge curve is formed from water flows and water levels. It will tell the water flow if water level is known. Discharge curves are used in inter alia hydraulic engineering and nature conservation.

The main method for measuring the water flow was Flow Tracker 2 discharge measurement instrument, but reliability was increased using salt dilution method and comparing the results with Center for Economic Development, Transport and the Environment's water flow results, which were carried out with OTT MF Pro water flow meter. Also, water shed simulation and forecasting system Vemala was used to forecast the water flows and levels. Water levels were measured from the water level station pole, where the old water level data has also been read.

The water flow measuring site was elected behind the Urpola Nature Center. The measurements were carried out during spring and summer of 2023. 12 water flow measurements with Flow Tracker 2 were carried out. Standard SFS-EN ISO 7482021 was used to help to choose the measuring sites and how to carry out comparable measurements. The measurements were launched at the beginning of snow melting in the spring of 2023 and continued through excess flow. The last measurement was carried out after the water levels were decreased during the summer.

With the water flow and level results, it was possible to create new discharge curve for Urpolanjoki. When new and the old results were compared, it indicated that the water flows were decreased. Only one water flow measurement from near the tail-water was increased in comparison with the old results. The other discharge measurements supported the Flow Tracker 2 results.

Keywords: Urpolanjoki, discharge curve, water discharge, salt dilution method.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIAA.....	7
2.1	Hydrologia.....	7
2.2	Vedenkorkeuden ja -virtaamien tutkimisesta	8
2.3	Purkautumiskäyrä	9
2.4	Urpolanjoen alue.....	10
2.4.1	Alueen historiasta	12
2.4.2	Urpolanjoen padot	15
2.4.3	Ennallistamistyöt.....	16
2.5	Standardi ohjeistaa virtaamamittauksia	18
2.6	Sontek Flow Tracker 2.....	19
2.7	Suolapulssimenetelmä.....	23
2.7.1	Menetelmän perusteet	23
2.7.2	Suolapulssimenetelmän ympäristövaikutukset	26
2.8	WSFS Vemala	27
3	TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	27
3.1	Purkautumiskäyrän määrittäminen Urpolanjoesta	27
3.2	OTT MF Pro -virtaamamittaukset.....	29
3.3	Suolapulssimenetelmä.....	29
3.4	Vanhat Urpolanjoen mittaukset.....	31
3.5	Vedenkorkeusmittaukset.....	32
3.6	Virtaamien ja vedenkorkeuden mittauspaikat	33
4	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	35
4.1	Vedenkorkeustulokset	35
4.2	Virtaamat	37
4.3	Uusi purkautumiskäyrä	39
4.4	Eri menetelmin saatujen virtaamatulosten vertailu.....	40

4.5	Epävarmuustekijät	41
4.5.1	Vedenkorkeuden havainnointi.....	42
4.5.2	Flow Tracker 2:n epävarmuustekijöistä.....	42
4.5.3	Suolapulssin epävarmuustekijät	43
4.5.4	Ympäristö ja datan käsittely	44
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET.....	48

LIITTEET

- Liite 1. Vanhat mittaukset ja purkautumiskäyrä
- Liite 2. Kevään ja kesän 2023 mittaukset ja purkautumiskäyrä
- Liite 3. ELY-keskuksen mittaukset
- Liite 4. Flow Tracker 2:n mittauskerran tietoja
- Liite 5. Kevään 2023 säätiedot
- Liite 6. Suolapulssin sähkönjohtavuudet 12.4.2023
- Liite 7. Suolapulssin kalibrointisuora 12.4.2023
- Liite 8. Suolapulssimenetelmän kaavat ja laskut 12.4.2023
- Liite 9. Vemalan vedenkorkeusennusteet
- Liite 10. 313. korkeuskiintopisteen tiedot

1 JOHDANTO

Veden virtaama- sekä korkeustiedot ovat tärkeitä välineitä hydrologisen kieron selvittämisessä vesistöissä. Virtaamien selvittämisessä apuvälineenä voidaan käyttää purkautumiskäyrää, jos sellainen on määritetty virtaavalle vesistölle. Purkautumiskäyrä kertoo veden virtaaman ja korkeuden suhteen kaavio-käyränä, eli käyrästä saadaan selville paljonko vettä virtaa uomassa tietyllä vedenkorkeudella. Purkautumiskäyrän tarjoamaa tietoa virtaamista voidaan käyttää apuna muun muassa vesirakentamisessa, vedenhankinnassa, kuiva-kausi-arvioinneissa, luonnonsuojelussa ja ympäristön seurannassa. Virtaaman avulla voidaan selvittää muun muassa haitta-aineiden sekä ravinteiden etenemistä uomissa. (Korhonen 2007, 7,14.)

Urpolanjoki ja osa sen ympäristöstä ovat luonnonsuojelualueita. Alue on myös tärkeä virkistys- ja pohjavesialue Mikkelin asukkaille. Urpolanjoelta purettiin syksyllä ja talvella vuonna 2022 vanhat padot ja uoma muokattiin luonnonmukaiseksi. Toteutetuille muokkaustöille Mikkelin kaupunki haki luvat Itä-Suomen aluehallintovirastolta (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022). Muutostöiden ja patojen purkamisten takia Urpolanjoen virtaamat ovat voineet muuttua vanhoista mittauksista, joita suoritettiin vuosien 2012–2017 välillä ELY-keskuksen (Elinkeino, liikenne ja ympäristökeskus) toimesta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on muodostaa Urpolanjoelle uusi purkautumiskäyrä. Käyrään tarvittavia vedenvirtausmittauksia suoritettiin keväällä ja kesällä 2023 akustiikkaan pohjautuvalla kaupallisella Sontekin Flow Tracker 2 -virtaamamittarilla. Mittauksia suoritettiin 12 kappaletta. Virtaamamittauksiin haettiin luotettavuutta samanaikaisesti toteutettavilla suolapulssimenetelmällä sekä ELY-keskuksen suorittamilla virtaamamittauksilla. Vedenkorkeus selvitetiin taas joessa sijaitsevasta mittausasteikolla varustetusta paalusta, joka on aikanaan tarkkuusmitattu valtakunnallisesta kiintopisteestä. Opinnäytetyö tehtiin osana Waterplus – Vesistöjen puhtautta edistämässä uusin menetelmin -hanketta, jota toteuttaa yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Suomen ympäristökeskus. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta. Myös Mikkelin kaupungin ympäristöpalvelut olivat mukana avustamassa opinnäytetyön toteuttamisessa.

2 TEORIAA

2.1 Hydrologia

Hydrologia tutkii, miten vesi liikkuu maapallolla. Hydrologian ymmärtäminen on tärkeässä roolissa, kun aletaan tutkimaan vesien virtaamista maan pinnalla. Suurin osa vedestä maapallolla on merissä ja vain pieni osa vesivaroista on makeaa vettä, josta suurin osa on varastoituna jäätiköissä. Vesi kiertää jatkuvasti luonnossa välillä vaihtaen olomuotoaan nesteen, vesihöyryn ja jään muodossa. (Fetter 1994, 4–5.)

Vesi haihtuu auringon ja lämmön vaikutuksesta merien pinnasta. Haihtuminen on runsainta lähellä päiväntasaajaa, jossa auringon lämmönvaikutus on voimakkainta. Vesi haihtuessaan nousee ja kulkeutuu ilmavirtojen mukana. Sääolosuhteiden ollessa suotuisat, vesi tiivistyy ja muodostaa vesipisaroita tai kylmien olosuhteiden vallitessa lumihiutaleita. Painovoiman vaikutuksesta nämä lopulta satavat mereen tai maahan. Maalle pudotessaan vesi varastoituu esimerkiksi lumena painannesäilyntään (esim. lampiin tai jäätiköihin). Osa taas sateesta tai sulavasta lumesta muodostaa virtoja valuen painovoiman pakottamana muodostaen näin pintavaluntaa. Osa virtaavasta vedestä taas suodattuu maahan muodostaen maavettä (ei sama kuin pohjavesi). Maavettä käyttävät hyödyksi muun muassa kasvit juuriensa avulla. Kasveista vesi jälleen haihtuu lehtien kautta ilmaan. Maavesi voi myös lämmönvaikutuksesta haihtua ilmakehään. Osa vedestä taas suodattuu painovoiman ansiosta maakerrosten läpi muodostaen pohjavettä. (Fetter 1994, 4–5.) Vesi voi olla myös joutunut pois hydrologisesta kiertokulusta, muun muassa jumiutuessa sedimenttiin sen kerrostuessa. Tätä kutsutaan fossiiliseksi vedeksi. (Maa- ja pohjavesisanasto 1976, 16).

Joet eroavat järvistä veden virtaamisen takia, jolloin vesi sekoittuu jatkuvasti, eikä selkeitä veden kerrostuneisuutta synny, toisin kuten järvissä. Joissa esiintyvä eliöstö onkin erikoistunut elämään virtaavissa vesissä. Eliöstön ja kasvillisuuden täytyy pystyä kiinnittymään joessa oleviin pintoihin, eli saavat muodostettua hyvin kitkaa, tai niiden muoto on virtaviivainen taistellen helpommin virran vastusta vastaan. Myös virtaavassa vedessä ravinnon hankinnan täytyy olla tehokasta sillä ravinto ei pysy paikallaan. Virtaava vesi tarjoaakin haastavat olosuhteet eliöstölle. (Lampert & Sommer 1997, 41–42.)

Virtaavissa vesissä ympäristö voi olla myös hyvin häiriöistä, koska vuosittain tapahtuu erilaisia veden korkeuden ja virtaaman vaihteluita muun muassa ylijä alivirtaamia, johtuen esimerkiksi lumien sulamisesta tai kuivuudesta. Ylivirtaamalla (HQ) tarkoitetaan vuoden suurinta havaittua virtaamaa, kun alivirtaama (NQ) on tämän vastakohta. Näiden lisäksi puhutaan myös usein keskialivirtaamasta (MNQ), keskivirtaamasta (MQ) ja keskiylivirtaamasta (MHQ). (Huttula ym. 2017.)

Tulvat ja ylivirtaamat voivat kasvattaa virtausta huomattavasti, jolloin pohjan elinot häiriintyvät ja pohjalla oleva irtonainen massa siirtyä virtaaman mukana. Virtauksen suuruudet vaikuttavatkin paljon pohjan oloihin. Kovasti virtaavissa vesissä pohja muodostuu raskaista ja painavista materiaaleista, kuten isoista kivistä ja lohkareista, ja pienissä virtaamisissa taas pohja voi olla hienojakoista ja mutaista. Myös virtaavaan veteen happi liukenee paremmin kuin seisovaan veteen. Tätä edesauttavat matalammat lämpötilat, johtuen lämpökerrostumien puutteesta. (Lamper & Sommer 1997, 41–43.)

2.2 Vedenkorkeuden ja -virtaamien tutkimisesta

Veden virtaamisen seurannasta ja valjastamisesta hyötykäyttöön on ihmisillä ollut kiinnostusta jo muinaisista ajoista asti. Esimerkiksi antiikin roomalaiset rakensivat akvedukteja, joilla saatiin vettä siirrettyä useidenkin kilometrien päähän isojenkin kaupunkien tarpeisiin. Vesi oli yleensä peräisin vuoristoseutujen lumista ja jäätiköistä. (Linjama 2016.) Nykyään vedenvirtaamien määrittelyt ja virtaamadata ovat tärkeitä edelleen vesirakentamisessa, veden hankinnassa ja hyödyntämisessä, mutta lisäksi tärkeitä vesiensuojelussa, kuivakausiarvioinneissa sekä tulvatorjunnassa (Korhonen 2007, 7).

Vedenkorkeushavaintoja on Suomessa tehty jo vuodesta 1843 (Näsijärvi). Ensimmäinen vedenkorkeusasteikko asennettiin Saimaan Lauritsalan asemalle vuonna 1847. Asemalta onkin Suomen historian pitkäkestoisin vedenkorkeushavaintosarja. Suomen ympäristökeskuksen (Syke) ylläpitämään Hertta-tietojärjestelmään vedenkorkeushavaintoja tallennetaan säännöllisesti ja useamalta tarkkailuasemalta. Vedenkorkeusmittauksia toteutetaan yleisimmin vesistöihin asennetuilla kiinteillä asteikoilla havainnoiden tai laitteella, joka rekisteröi mittaukset säännöllisesti. (Korhonen 2007, 9.)

Veden virtaamamittauksia Suomessa on aloitettu tekemään 1700-luvulla, mutta ilman laitteistoja, joten tulokset olivat heikkotasoisia. 1860-luvulta lähtien tulivat ensimmäiset hydrometriset siivikot avuksi virtaamamittauksiin. Vuonna 1907 perustettiin Hydrografinen toimisto, jonka jälkeen virtausten ja purkautumiskäyrien mittaukset lisääntyivät roimasti. Mittaukset olivat 1900-luvun alusta Suomessa jo sen verran laadukkaita, että ne täyttivät ISO-normien vaatimuksia. (Korhonen 2007, 11–12.)

Veden virtaaman kaava on esillä yhtälössä 1.

$$Q = \int v(A) dA \quad (1)$$

jossa $v(A)$ virtausnopeus poikkileikkauksessa A (m^3/s)

2.3 Purkautumiskäyrä

Purkautumiskäyrän muodostamiseen vaaditaan vedenvirtaamamittauksia eri vedenkorkeuksilla. Muodostettava käyrä pitää pyrkiä tekemään niin, että sen kautta voidaan virtaamat selvittää luotettavasti kaikilta vedenkorkeuksilta. Virtaamat sijoitetaan x-akselille ja vedenkorkeudet y-akselille. (Hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirja 1997.) Virtaamissa hydrologisessa seurannassa käytetään yksikkönä pääosin m^3/s . Pienissä puroissa voidaan käyttää kuitenkin myös yksikkönä l/s , johtuen pienistä virtauksista. Virtaamamittauksissa on syytä käyttää kansainvälistä standardia. Hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirjan (1997) mukaan ympäristöhallinnon virtaamasemilla käyrään vaaditaan vähintään 5–6 virtaamamittausta eri vedenkorkeuksilla. Purkautumiskäyrää määriteltäessä on myös arvioitava kynnyksen korkeusasemaa. Tällä tarkoitetaan pistettä vedenkorkeudessa, jonka alapuolelle mentäessä veden purkautuminen tyrehtyy. Kynnysalueen pitää olla kiinteästä materiaalista (esimerkiksi kiviä, kallio tai pohjapato), eli se on muuttumaton. Jos kynnysalue on muuttuva, huonontaa se virtaamadataan luotettavuutta. (Hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirja 1997.)

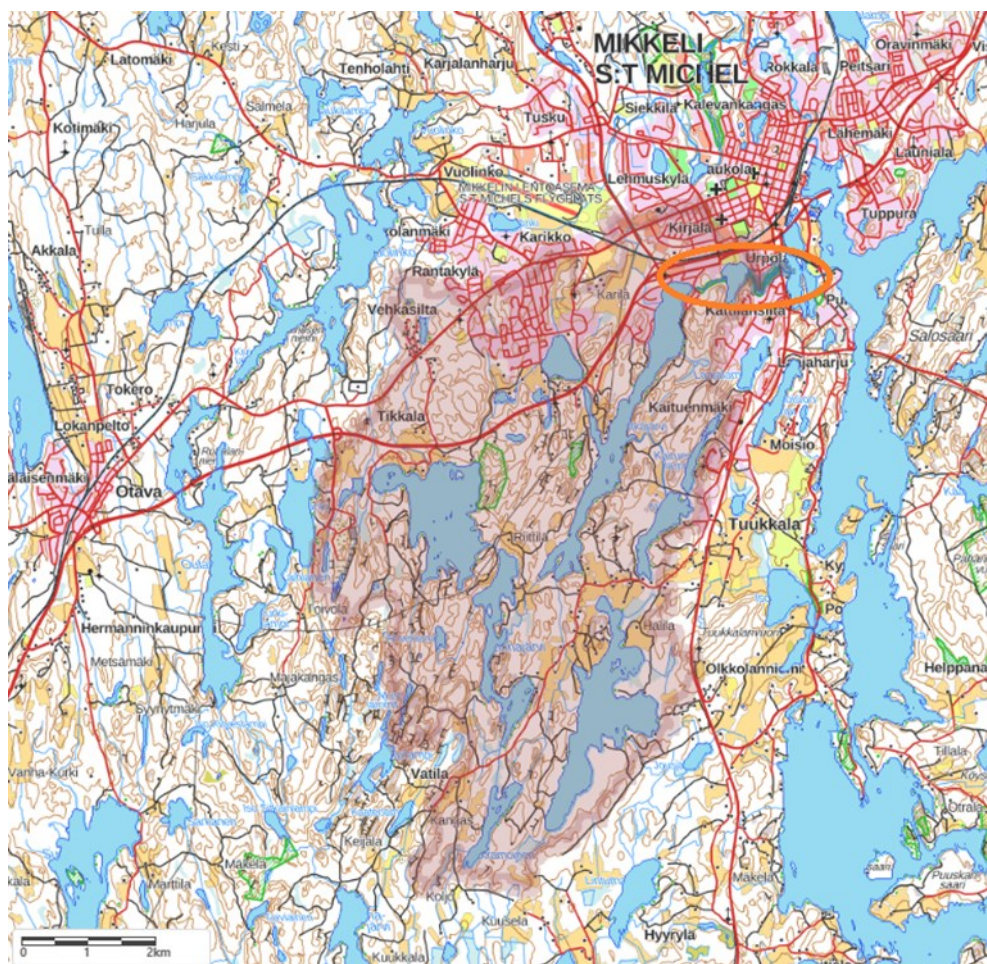
Vedenkorkeus voidaan yksinkertaisesti selvittää mittaamalla vedenkorkeus esim. mitta-asteikolla varustetulla paalulla, mutta luotettavuutta korkeusdatalle

tu, jos mitta-asteikko on korkeustarkistettu valtakunnalliselta korkeuspisteeltä. Vedenkorkeusmittapaikan valitsemisessa on mietittävä paikan edustavuutta, saatavilla oleva mittalaitteisto sekä mittalaitteiston tarkkailijan saatuus. Jos mahdollista, olisi vedenkorkeus hyvä määrittää useammasta mittapaikasta. (Hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirja 1997.)

Purkautumiskäyrä voidaan muodostaa vain sellaiselle virtaavalle vesistölle, jossa alapuoleisen vesistön vedenkorkeus ei vaikuta veden purkautumiseen (kiitovirtaus). Purkautumiskäyrät voivat muuttua ihmisen toteuttamalla muutostöillä, mutta myös ajan kuluessa luonnollisen eroosion muokatessa uomaa. (Hydrologisen seurannan kenttätöiden käsikirja 2017.)

2.4 Urpolanjoen alue

Urpolan alue paljastui Yoldiameri-vaiheen aikana jäätikön sulaessa (n. 11 300 vuotta sitten). Tuolloin Urpolanjokilaakso oli vielä täysin veden alla, mutta maa alkoi kohota jäätikön sulaessa. Samaan aikaan Vuoksen syntyminen kiihdytti vedentason laskemista ja synnyttäen Urpolan alueen. (Saimaa Geopark Finland s.a.)



Kuva 1. Urpolanjoen valuma-alue (tummennettu alue) ja Urpolanjoki (oranssilla ympyröity) (VALUE-Valuma-alueen rajaustyökalu 2023)

Urpolanjoen valuma-alue on n. 4 200 ha. ja latvajärvenä toimii Otramoinen (kuva 1). Otramoisesta vedet jatkavat Linnajärven läpi Pitkäjärveen. Otramoisen valuma-alue n. 26 ha, joka muodostuu pääosin metsäalueista. (Tikka 2000, 10.) Muita vesistöjä, joista vedet kulkeutuvat Urpolanjokeen ovat muun muassa Syysjärvi, Kallajärvi, Nielus, Kaituenlampi sekä Orijärvi. Valuma-alue on selvitetty VALUE-ohjelmalla, joka on Suomen ympäristökeskuksessa laadittu valuma-alueen rajaustyökalu. Osa Mikkelin kaupungin hulevesistä (pääosin Kirjalan ja Rantakylän alueilta) johdetaan Urpolanlampeen ja sitä kautta Urpolanjokea pitkin Saimaaseen. Hulevedet alueella ovatkin viime aikoina aiheuttanut väittelyä Urpolan asukkaiden ja Mikkelin kaupungin välille (Ahdelma 2023). Urpola-alue kuuluu Mikkelille tärkeään Pursialan pohjavesialueeseen, josta saadaan 75 % talousveden tuotannosta. Pohjavesi on peräisin Kattilanlahdesta ja Pursialanlahdesta. (Mikkelin seudun ympäristölautakunta 2022.) Urpola läpi virtaava Urpola-joki on kaksiosainen, jonka pintavesityyppi on pieni kangasmaiden joki (Vesimuodostuman tiedot 2018).

Alkunsa joki saa Pitkäjärven pohjoisosasta, josta se virtaa Urpolanlampeen. Urpolanlammessa vesi viipyy hetken jatkaen matkaansa taas jokena lammen itäpäädyistä laskien lopulta Kattilanlahteen. Kattilanlahdesta on yhteys Pursialan läpi Saimaaseen. Pituutta Urpolanjoella on 2,7 km (Vesimuodostuman tiedot 2018). Pitkäjärven korkeus on 89,5 m ja Kattilanlahden korkeus on Saimaan tasolla eli 75,8 m, eli laskua Urpolanjoen matkalla tulee 13,7 m, josta suurin osa sijoittuu Urpolanlammen ja Kattilanlahden väliin (11,6 m). Joen uoman leveys vaihtelee muutamasta metristä viiteen metriin. Laadultaan joki jaotellaan ekologiselta ja kemialliselta tilaltaan hyväksi (ilman UBI-aineita) (Vesimuodostuman tiedot 2018).

Urpolanjoen luonto muodostuu pääosin lehtokasvillisuudesta (mm. saniaisia, suurruohoa ja koiranheisiä). Alueen ympäristö antaa suojaa monelle eläinlajille mm. saukolle, koskikaralle ja taimenelle. Myös liito-oravan on havaittu liikuvan joen ympäristössä. (Urpolan luonnonsuojelun alueen käyttö- ja hoitosuunnitelma 2017–2023 2018.)

2.4.1 Alueen historiasta

Urpolan nimen alkuperä on mysteeri. Yksi arvio nimen alkuperästä on urpu-sana, joka on tarkoittanut kukoistavaa, kukkivaa, ja on ehkä tarkoitettu kuvaamaan Urpolan alueen monipuolista luontoa (Vantti 2012, 18). Ihmistoimintaa Urpolanjoen alueella on ollut pitkään. Mikkelin seudulla on ollut asutusta 4 000–2 000 eaa. arkeologisten löytöjen perusteella. Urpolan alueelta löytyykin runsaasti kulttuurihistoriallisia kohteita (Saimaa Geopark Finland s.a.). Alue on ollut hyvää asuinsijaa johtuen soraharjusta (Vantti 2012, 15). Jokialueen läheisyydessä sijaitsee Urpolan luontokeskus, joka antaa tietoutta paikassa vierailville alueen luonnosta ja historiasta. Keskus sijaitseekin vuodelta 1782 olevassa Mikkelin vanhimmassa säilyneessä asuinrakennuksessa aivan Urpolan kartanon (oikeasti kyse on virkatalosta) vieressä (Urpolan Luonto-keskus s.a.). Alueella ovat kulkeneet jo vuosikymmenien ajan tiet pohjoisesta etelään sekä itään sekä rautatie. Myös teollisuustoimintaa on ollut muun muassa puukyllästämön muodossa, joka on myös johtanut maaperän pilaantumiseen (Rautio 2011, 30). Urpola kuitenkin laskettiin aikoinaan kaupunkialueen ulkopuoliseksi alueeksi ja oli osa Mikkelin maalaiskuntaan.

Urpolanjoen varrella on sijainnut myllyjä jo 1500-luvulta lähtien, jotka olivat kotitarvikemyllyjä, eli jauhoja tuotettiin tilojen omaan käyttöön. Joki tunnettiinkin aikoinaan Myllyjokena. Tunnetuimpia ovat olleet ylä- ja alamylynimellä olleet myllyt, joista vanhempi ylämylly on toiminut jo 1500-luvulta lähtien, mutta purettu vuonna 1957 (Vantti 2012, 105). Alamyly, tunnetaan myös Kattilankoskenmyllynä, taas rakennettiin 1700-luvulla ja on malliltaan jalkamyly. Mylly seisoo edelleen paikallaan (kuva 2), mutta ei ole enää vuosien oltu käytössä. Paikalta löytyy myös kunnostetut myllärin tupa ja sauna. Alamyly toimi veromyllynä, eli lähistön ihmiset ovat tuoneet siihen omia viljojaan, jotka korvausta vastaan myllättiin jauhoiksi. (Wirilander 1982, 447.)



Kuva 2. Vanha mylly ja uudet rakennetut kalaportaat, materiaalina käytetty luonnonkiveä ja soraa (Kuva Panu Immonen)

Urpolanjoen myllyn vieressä on myös aikoinaan toiminut kalanviljelylaitos, joka toimi vuosina 1963–1988. Kala-altaissa kasvatettiin kirjolohia. Laitos toimi Mikkelissä nähtävyytenä, jossa mm. presidentti Kekkonen ja Ruotsin pääministeri Tage Erlander vierailivat vuonna 1967. (Vantti 2012, 106.) Joessa on myös sijainnut uittoränni, jota pitkin tukkeja on pystytty siirtämään alavirtaa kohden (Jaatinen 2015, 224).

Urpolanjokea ylittää kaksi vanhempaa kivisiltaa, itäinen (rakennettu 1880-luvulla) ja läntinen (rakennettu vuonna 1937), jonka päältä nykyinen Lappeenrannantie kulkee (Urpolanjoen itäinen kivisilta s.a.; Urpolanjoen läntinen kivisilta s.a.). Urpolanjoki on myös kokenut taistelujen melskettä, kun alueella

käytiin viivytystaisteluja Porrassalmen taistelujen jälkimainingeissa Kustaan sodassa (Vantti 2012, 91). Urpolanjoen alue on siis ollut ja on edelleen ihmisille tärkeää aluetta. Nykyisin varsinkin virkistysmielessä, sillä alueella kiertää luonto- ja kuntopolkuja.



Kuva 3. Kaatuneita puita Urpolanjoessa, jotka aiheuttavat häiriötä uoman virtaukseen ja siten virtaamamittauksiin. Koska kyseessä luonnonsuojelualue, ei puita saa raivata pois. (Kuva Panu Immonen)

Urpolanjokilaakson alueita rauhoitettiin rauhoituspäätöksellä vuonna 1981 ja rauhoitusaluetta laajennettiin vuonna 1988. Rauhoitus tarkoittaa, ettei alueelle saa rakentaa tai suorittaa toimintaa, joka vaikuttaa alueen ympäristöön esimerkiksi kasvillisuuteen tai eläimistöön (kuva 3). (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

2.4.2 Urpolanjoen padot

Ennen suoritettuja ennallistamistöitä Urpolanjoessa on ollut säännöstelypato ja myllypato. Näiden yläpuolella sijaitsivat pohjapadot, jotka oli rakennettu, koska aikaisemmat padot alkoivat olla jo huonokuntoisia. Pohjapadoille on myönnetty luvat vuonna 1999 ja ne on rakennettu vuonna 2000. (Itä-Suomen aluehallintavirasto 2022.) Säännöstelypadon tarkoitus on ollut säännöstellä vedenpinnan korkeutta, joko juoksuttamalla vettä tai estää veden kulkua (Vesiensuojelurakenteet ja -ratkaisut s.a.). Myllypato oli taas paljon vanhempi ja rakennettu antamaan myllylle pyörimisvoima jyvien jauhatusta varten. Nykyään myllypadosta on jäljellä enää kivimuureja (kuva 4).



Kuva 4. Puretun myllypadon jäämiä myllyn yläpuolella muurimaisina rakenteina (Kuva Panu Immonen)

Urpolanjoen pohjapadot olivat tehty teräsponteista (kuva 5). Pohjapadoilla on ollut tarkoitus nostaa veden korkeutta. Pohjapadot jäävätkin yleensä vedenpinnan alle. Pohjapatojen tarkoitus on turvata alivirtaaman aikaan tietty vedenkorkeus uomassa. Yleensä pohjapatoja rakennetaan maisemoinnin vuoksi, mutta myös vesihuollon parantamiseksi tai virkistysyistä. Pohjapadot myös estävät pohjakulkeumana liikkuvaa karkeaa kiintoainetta etenemästä. (Vesihallituksen monistesarja 1985.)



Kuva 5. Pohjapato, jonka keskikohtaan on leikattu aukko ja vesi virtaa padon kohdalta va-
paammin (Kuva Panu Immonen)

Pohjolan sääoloissa virtaavissa vesissä on otettava huomioon myös jääpadot. Jääpatoja voi syntyä keväisin ja talvisin, kun jäät lähtevät virtaaman mukaan. Jääpadot muodostuvat, kun irronneet jäälautat kasaantuvat, estävät veden vir-
taamista ja aiheuttavat tulvia. Joillakin joilla Suomessa tämä on joka keväinen
ilmiö. (Jääpato s.a.)

2.4.3 Ennallistamistyöt

Vuonna 2022 vaelluskalojen elinolosuhteita kunnostettiin Nousu-ohjelmasta
saadun rahoituksen turvin. Ohjelman tarkoitus on elvyttää vaelluskalojen elin-
olosuhteita Suomen virtavesissä. Ohjelmassa tekee yhteistyötä maa- ja met-
sätalousministeriö, ELY-keskukset, patojen omistajat ja Metsähallitus. (Urpo-
lanjoki on avautunut... 2022.) Ohjelman toteuttamiselle ei ollut rahoituksellisia
esteitä ja Mikkelin kaupunki haki lupaa ohjelman toteuttamiselle Itä-Suomen
aluehallintavirastolta. Lupa Urpolanjoen kunnostukselle myönnettiin maalis-
kuussa 2022. (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

Kunnostuksessa joen ylempi ja alempi pato (molempien patojen yläpuolella sijaittivat teräsponsittiset pohjapadot) korvattiin kunnostustöissä kalateillä. Rakenteet tehtiin luonnonmukaisina rakennelmina: kalaportaissa käytettiin luonnonkiviä. Portaissa olevien kivrintamien välille jätettiin kivillä verhoiltuja vaimennus- ja levähdysaltaita. Kalateihin otettiin ohjeistusta Suomen ympäristökeskuksen kalateiden suunnittelu- ja mitoitusohjeista. Ylemmän pohjapadon yläpuolelle tehdyn kalatien tarkoitus on edelleen säätää yläpuolella sijaitsevan Urpolanlammen vedenkorkeutta, mutta tulevaisuudessa sen tarkoitus on turvata myös paremmin minimivirtausta kuivien kausien aikana. Tämän takia pohjapatoon leikattiin purkausaukko (pituus 700 mm, korkeus 600 mm). Myös säännöstelypadon betoniin leikattiin purkausaukko (pituus 600 mm, korkeus 300 mm). Aukotettujen patojen välille ja alapuolelle rakennettiin myös kalatiet, kuten myös vanhan myllyn kohdalle. Myllyn yläpuolella sijaitsevaa pohjapatoa käytettiin osana kalatien kynnysrakennetta. Altaiiin rakennettiin myös kutusorakoita. (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

Päätösluvan mukaan tehdyt muokkaustyöt eivät tulisi muuttamaan Urpolanjoen vedenkorkeuksia eikä myöskään virtaamia. Päätöksessä esitetyt virtaamat ennen suoritettua muokkausta ovat esitetty taulukossa 1. Muutostöiden ja lupapäätöksen myötä patoja koskevat vanhat luvat raukesivat. (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

Taulukko 1. Virtaamat vanhan vesitalousluvan mukaan (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022)

Alivirtaama (NQ)	0,02 m ³ /s
Keskialivirtaama (MNQ)	0,08 m ³ /s
Keskivirtaama (MQ)	0,34 m ³ /s
Keskiylivirtaama (MHQ)	1,57 m ³ /s
Ylivirtaama (kerran 20-vuodessa toistuva) (HQ _{1/20})	2,7 m ³ /s

Kalateiden laskettiin vaikuttavan Urpolanlammen vedenkorkeuden yliveteen laskien vedenkorkeutta 7 cm ja aliveden aikaista korkeutta 20 cm. Keskivedenkorkeus ei tulisi muuttumaan. Vanhat rakenteen ja rakennukset pyrittiin säilyttämään lupapäätöksessä. Kalateiden mitoitus kynnyksille laskettiin Polenin kaavalla. (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

Haittoina lupapäätöksessä töille nähtiin vain hetkellinen vaikutus vedenlaatuun johtuen veden samentumisesta. Päätöksen mukaan Mikkelin kaupunki on veloitettu tarkkailemaan hankkeen vaikutuksia vedenkorkeuteen viiden vuoden ajan. (Itä-Suomen aluehallintovirasto 2022.)

2.5 Standardi ohjeistaa virtaamamittauksia

Standardi SFS-EN ISO 748:2021 antaa ohjeita, kuinka suorittaa virtaamamittauksia virtaavasta vedestä avoimissa uomissa, jotta mittaukset olisivat standardin mukaisia ja tulokset verrattavissa keskenään. Standardi antaa esim. ohjeistusta erilaisille virtaamamittausmenetelmille, kuten muun muassa akustisille Doppler-menetelmille (tähän menetelmään kuuluu opinnäytetyössä käytetty Flow Tracker 2 -mittari) sekä pintavirtaamamittausmenetelmille.

Ihanteellinen virtaamamittauspaikka standardin mukaan (johon olisi tähdättävä) on suora, vähintään kuusi kertaa uoman leveys ylävirtaan ja kolme alavirtaan kohti. Uoman olisi oltava kaltevuudeltaan ja poikkileikkaukseltaan tasainen, jolloin virtaus olisi mahdollisimman tasaisesti etenevää. Uomassa ei saa olla esteitä, kuten isoja kiviä, puita tai kasvillisuutta, jotka haittaavat tasaista virtausta. Uoman pohjan ja reunojen on oltava vakaat. Virtauspaikkoja, joissa syntyy turbulentsuutta, akanvirtoja tai virtaus on muuten jatkuvasti muuttuvaa tai seisovaa, on vältettävä mittauspaikkana. Vettä on oltava tarpeeksi, jotta mittaus kohteesta onnistuu mittausajanjakson eri vaiheissa (varsinkin alivirtaaman aikana). Jos mittauspaikalla sijaitsee silta, on varmistettava, ettei sillan rakenteet aiheita turbulentsia virtauksia mittauskohtaan. Hyväksyttävää on suorittaa mittauksia myös alkuperäisen mittauspaikan ylä- tai alavirran puolelta. Standardi antaa myös ohjeet, jos mittausajankohta on jääpeitteiden aikana. (SFS-EN ISO 748: 2021.)

Mittauspaikka olisi standardin mukaan syytä merkitä niin, että mittauspisteet tulisivat selvästi ilmi ja mittauspisteitä on tarpeeksi uoman leveyteen nähden. Mittauspisteiden määrä riippuu mittauspaikan uoman leveydestä (taulukko 2). Myös mittauspisteitä syvyysuunnassa (vertikaalisti) voidaan standardin mukaan lisätä, jos epäillään virtaaman vaihtelevan vertikaalisti. Metodeina voidaan käyttää esimerkiksi yksi- kaksi tai kolmepiste metodia. Yksipistemethodissa on vai yksi mittauspiste 3/5 veden syvyydestä (eli 1 m syvässä uomassa

piste on 0,6 m syvyydessä), Kaksipistemethodissa on kaksi mittauspistettä 1/5 ja 4/5 mittauskohdan veden syvyydestä. Kolmepistemethodissa yhdistetään molempien edellä mainittujen metodien pisteet, eli mittapisteinä ovat 1/5, 3/5 ja 4/5 veden syvyydestä. Näistä mittauspisteitä lasketaan virtaaman keskiarvo vertikaaliselle osuudelle. Jos käytetään useampaa syvyysmittausta, on tulos aina luotettavampi, varsinkin jos virtauksessa havaitaan vaihteluita eri syvyyksissä. (SFS-EN ISO 748: 2021.)

Taulukko 2. Mittauspisteiden määrä riippuen uoman leveydestä (SFS-EN ISO 748:2021, 8)

Uoman leveys	Mittauspisteiden määrä leveyssuunnassa
< 0,5 m	≥ 15 kpl
> 0,5 m, < 5 m	≥ 20 kpl
> 5 m	≥ 22 kpl

Uoman ensimmäisen ja viimeisen mittauspisteen tulisi olla mahdollisimman lähellä uoman reunaa. Jokaisen mittauspisteen mittausaika tulisi olla vähintään 30 s, jotta mittausajalta saadaan tarpeeksi dataa ja näistä muodostettua luotettava keskiarvo virtauksesta. (SFS-EN ISO 748: 2021.)

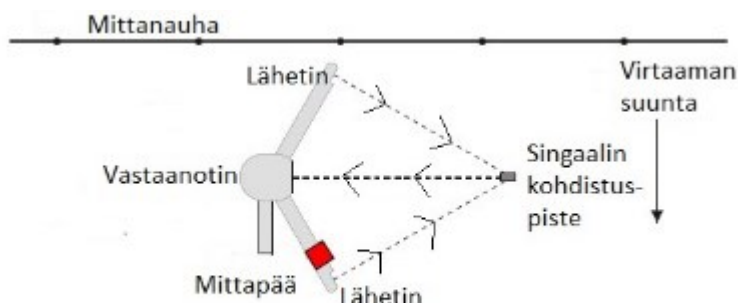
2.6 Sontek Flow Tracker 2

Flow Tracker 2 on Sontekin valmistama kannettava ADV-virtaamamittari (acoustic doppler velocimeter) (kuva 6). Laitteen teknologia perustuu Doppler-ilmiön havaitsemiseen. Doppler-ilmiö (äänen taajuuden muutos) esimerkiksi havaitaan, kun hälytysajoneuvo lähestyy paikallaan seisovaa tarkkailijaa. Tarkkailija havaitsee hälytysajoneuvon äänen korkeina, mutta ajoneuvon ohi ajaessa ja mennessä poispäin ääni madaltuu. Äänen muutokset johtuvat ääniaaltojen lähteen ja tarkkailijan liikkeestä toisiinsa nähden (Doppler-ilmiö s.a.).



Kuva 6. Flow Tracker 2 koottuna käyttökuntoon vasemmalla ja oikealla pakattuna kuljetuslaukussa (Kuva Panu Immonen)

Laitteessa kaksi lähetintä (2D malli) mittauspäässä lähettää äänipulssin veteen n. 10 cm päähän kahdesta tai kolmesta lähettimestä. Signaali osuu vedessä virtaavaan partikkeliin ja heijastuu vastaanottimeen (kuva 7). Äänisignaali heijastuu vedessä erilaisilla voimakkuuksilla vedessä liikkuvista partikkeleista, jotka liikkuvat virtaaman nopeudella ja laite vertaa näitä signaaleja lähettäisiin signaaleihin. Tästä syntyy Doppler-ilmiön taajuusero ja se on verrannollinen virtausnopeuteen. (Haapamaa 2013, 15.)



Kuva 7. Mittapää lähettää signaalia signaalin kohdistuspisteeseen, josta signaali heijastuu vastaanottimeen. Punaisella merkattu lähetin täytyy olla alavirtaa kohti. (Kuva SonTek FlowTracker2 s.a, 60, muokkaus Panu Immonen)

Toimiakseen Flow Tracker 2 siis vaatii, että vedessä on jonkinlaisia liikkuvia partikkeleita. Täysin puhtaasta vedestä laite ei pysty virtaamaa mittaamaan. Mitattaessa laitteella, mittaaja asettuu aina laitteesta katsoen alavirtaan (kuva 8), jottei mittahenkilö aiheuta itse häiriötä tutkittavaan virtaan. (SonTek FlowTracker2... s.a.)



Kuva 8. Virtaamien mittaamista Flow Tracker 2:lla. Mittanauha on vedetty yli uoman, josta tarkastetaan aina jokaisen mittapisteen oikea sijainti. Uoman syvyyden takia mittaaja on joutunut varustautumaan kahluuhousuilla. (Kuva Aki Mykkänen)

Mittauksen aluksi määritetään uoman leveys, jotta tiedetään montako mittauspistettä tulee mittauksen sisältää hyvän mittausdatan saamiseksi. Uoman leveyden lisäksi mittausmääriin vaikuttaa myös uoman syvyys. Mittauspisteiden määrät siten selviävät standardista SFS-EN ISO 748: 2021 (taulukko 2). Lisäksi mittapisteelle tulee yleensä yksi tai kaksi syvyyspistettä. Syvyyspisteiden

määrän laite määrittelee automaattisesti syvyyden mukaan. Jos kuitenkin kahden syvyyspisteen virtaamat ovat liian poikkeavia, laite suosittelee mitattavaksi vielä kolmannesta syvyydestä. Näistä mittauspisteiden mittauksista laite muodostaa uomalle kokonaisvirtauksen. Koko mittauksen ajan on hyvä käyttää mittanauhaa, jotta laite tulee mahdollisimman lähelle oikeaa mittapistettä. (SonTek FlowTracker2... s.a.)

Laitteella voi mitata virtauksia välillä 0,001–4 m³/s vedenkorkeuden vaihdellessa 0,02–1,4 m (ellei käytössä ole jatkovartta). Vedensyvyyttä voidaan mitata manuaalisesti laitteen varressa olevalla syvyysmerkeistä, tai laitteen sisäisellä paineanturilla. Mittauspään syvyys säädetään varren kahvasta oikeaksi virtaamamittausta varten. Syvyyspaineanturi kalibroidaan ennen mittausten aloittamista ja välillä mittausten välissä. Tämä vaatii mittapään nostamista vedestä, sillä laite tekee kalibroinnin ilmanpaineessa. Laite täytyy myös pitää suorassa mittauksen ajan, tämä voidaan tarkistaa laitteessa olevalla vatupassilla tai laitteen näytöltä (kuva 9). (SonTek FlowTracker2... s.a.)



Kuva 9. Flow Tracker 2:n varresta löytyy sekä mittataulukko sekä vatupassi, jotta laitetta voidaan pitää mittauksen ajan suorana. (Kuva Panu Immonen)

Aina ennen jokaista mittauskertaa on huolehdittava, että laitteelle suoritetaan akustisen signaalitesti (beam check) mittapään ollessa vedessä. Testissä laite testaa kahden lähettimen lähettämät signaalit toimiviksi. Yhden mittauspisteen mittausajanjaksoa voidaan laitteen asetuksista vaihtaa (standardi suosittelee yli 30 s mittausajanjaksoa parantamaan mittauksen luotettavuutta). Perusasetuksena laitteessa mittausajanjakso on säädetty 40 s. (SonTek FlowTracker2... s.a.).

2.7 Suolapulssimenetelmä

2.7.1 Menetelmän perusteet

Veden virtaamaan voidaan määrittää myös suolapulssimenetelmällä, jossa uomaan kaadetaan suolaa tai suolaliuosta uoman virtaan, joka vaikuttaa veden sähkönjohtavuuteen. Sähkönjohtavuutta mitataan ja tarkkaillaan tietyn matkan päässä sekoituspisteestä. Suolaliuos alkaa nostamaan uoman sähkönjohtavuutta, joka nousee nopeasti huippuunsa ja alkaa laskea. Lopulta sähkönjohtavuudenpulssi on mennyt kokonaan mittauspisteen ohi ja sähkönjohtavuus on laskenut uoman veden perustasolle. Virtaama saadaan lopulta laskettua sähkönjohtavuuden, ajan, käytetyn suolaliuoksen määrän ja kalibrointisuorasta saadun kertoimen avulla. (Merz & Doppman 2006.)

Menetelmä on maailmalla yleisesti käytetty, varsinkin vuoristoseuduilla, joihin tuen sen edullisuudesta sekä sen soveltuvuudesta vaihteleviin uomiin. Suomessa menetelmä on kuitenkin vähän käytetty ja opinnäytetyön tutkimuksissa olikin tarkoitus samalla testata menetelmän luotettavuutta ja toimivuutta.

Haasteena menetelmällä on, että virtaaman suuruus täytyy arvioida ennen kokeita, jotta uomaan syötettävä suolaliuos on sopivan vahvuista virtaamaan nähden. Mitä isompi virtaus uomassa on, sitä isompia suolamääriä käytetään. Menetelmän täytyy myös täyttää tiettyjä ehtoja. Uoman reuna ei saa olla liikaa vettä läpäisevää (esimerkiksi hiekkaa/soraa), ettei suola imeydy uoman reunoihin/pohjaan. Uomassa on myös huomioitava, että virtauksen on oltava jatkuvaa mittauksen aikana, jotta kaikki suola virtaa mittauspisteelle ja sen ohi, eikä päädy suvantoihin. Myös alueella laiduntava karja voi vaikuttaa suolapitoisuusarvoihin eri eritteiden kautta. Menetelmässä voidaan käyttää peruspöy-

täsuolaa, joka on edullista, sitä on helposti saatavilla ja sen aiheuttamaa sähköjohtavuuden muutosta on helppo seurata kenttäkelpoisilla sähköjohtavuusmittareilla. (Merz & Doppman 2006.)

Suolapulssimenetelmään on muutama erilainen metodi: suolaliuosta syötetään virtaukseen jatkuvasti pienellä virtaamalla (constant-rate injection), suolaliuos syötetään virtaukseen kertasyötöllä (slug injection) tai suola syötetään virtaukseen kiinteänä aineena (dry injection). Jatkuvan suolaliuoksen syöttö sopii parhaiten uomiin, joissa pienehkö virtaus (alle 100 l/s). Suolaliuoksen kertasyöttö taas sopii jopa 15 000 l/s virtauksiin ja kiinteän suolan syöttö taas vielä suurempiin, mutta menetelmä vaatii pidemmän välimatkan suolan syöttöpisteen ja mittauspisteen välillä, jotta suola pääsee liukenemaan kunnolla. (Moore 2003.)

Suolaliuoksen kertasyötössä uoman sähköjohtavuutta nostava suola liuotetaan uoman veteen astiassa hyvin ja syötetään uoman veteen yhdellä kertaa kaatamalla. Menetelmää varten täytyy myös valmistella kalibrointisuora. Mooren artikkeleissa kalibrointisuora lasketaan suhteellisella pitoisuudella, mutta Urpolanjoen mittauksien laskuissa päätettiin käyttämään Bois State Universityn esittelemää kaavaa (Dilution gaugin s.a.). Kaavassa tarvittavaa kalibrointisuora k-kerroin laskettiin sähköjohtavuuden ja suolaliuoksen pitoisuuden kautta. Kaava eroaa myös Mooren esittelemästä siinä, että Bois Staten kaavassa virtaus lasketaan suolan massan kautta eikä suolaliuoksen tilavuudella, kuten Moore opastaa. Samaa kaavaa käyttävät myös Merz ja Doppmann omassa suolapulssioppaassaan (Merz & Doppman 2006).

Suolapulssin virtaama ratkaistaan yhtälöllä 2.

$$Q = \frac{M}{(k \Delta t \Sigma [Ec(t) - ECbg])} \quad (2)$$

jossa	Q	virtaus	(m ³ /s)
	M	Uomaan lisätyn suolan määrä	(g)
	k	kalibrointikerroin, joka saatiin kalibrointisuoran kautta	
	Δt	mittauksessa käytetty mittausväli (intervalliaika)	(s)

EC(t)	Uomasta mitattu sähkönjohtavuus	($\mu\text{S}/\text{cm}$)
ECbg	Uomasta mitattu perustason sähkönjohtavuus	($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Suolapulssimenetelmä aloitetaan tekemällä kalibrointisuoraa varten primääri-liuos. Tämä voidaan tehdä paikan päällä kohteessa tai valmiiksi laboratoriossa. Kalibrointisuora tarvitaan, jotta pystytään selvittämään suolaliuoksen suhde sähkönjohtavuuteen. Primääriliuokseen otetaan tislattua vettä 1 000 ml. Tähän yhteen litraan lisätään 3 g suolaa. Suolan oltava samaa, mitä myöhemmin lisätään uomaan suolaliuoksena.

Seuraavaksi valmistetaan sekundääriliuos, jossa otetaan 1 000 ml tutkittavan uoman vettä. Tästä mitataan sähkönjohtavuus, joka määrittää sähkönjohtavuuden perustason uomalle. Tähän sekundääriliuokseen lisätään 1 ml primääriliuosta. Tämä toistetaan, kunnes on lisätty yhteensä 10 ml primääriliuosta sekundääriliuokseen. Jokaisen lisäyksen jälkeen sekundääriliuos sekoitetaan hyvin ja siitä mitataan sähkönjohtavuus, joka merkataan ylös sekä lasketaan suolan pitoisuus (mg/l). Sähkönjohtavuus muutetaan vastaamaan 25 °C lämpöisen veden lukemiin (yleensä sähkönjohtavuusmittarit pystyvät tämän tekemään automaattisesti), jotta tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Kalibrointiliuoksen suoran kaavio saadaan nyt muodostettua mitattujen sähkönjohtavuuksien ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ja sekundääriliuoksen suolanpitoisuuden (mg/l) avulla. Tämän suoran avulla kaaviosta saadaan muodostettua suoran funktio, joka kertoo kalibrointikertoimen (k).

Kalibrointisuoran jälkeen valmistetaan uomaan sekoitettava suolaliuos. Suolaliuoksen suolapitoisuus täytyy olla tarpeeksi suuri, että se vaikuttaa merkittävästi sähkönjohtavuuteen ja on helppo mittarilla havaita, mutta ei saa olla myöskään liian iso, että suola jää liukenematta (Moore 2005). Hyvänä nyrkkisääntönä R.D. Moore pitää suola määrän olevan 15–20 % yhtä (1) litraa uoman vettä (tällöin suolaliuoksen tilavuus on 6,36 l ($\pm 0,01$ l)) virtauksen yhtä (1) m³/s kohden. Suola täyttyy sekoittaa hyvin, jotta kaikki suola liukenee suolaliuokseen. Menetelmän tarkkuus riippuu siitä, miten korkealla suolapulssin sähkönjohtavuus nousee virran sähkönjohtavuuden perustasosta. Moore ohjeistaa, että huipun pitäisi olla 100–200 % virran perussähkönjohtavuudesta,

joissa perustaso on alle 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Uomat, joissa sähkönjohtavuuden perustaso taas on päälle 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, voidaan käyttää suolamääriä, jotka nostava sähkönjohtavuuden 50 % perustasosta. (Moore 2005.)

Sähkönjohtavuutta aletaan mittaamaan suolaliuoksen uomaan kaatamisen jälkeen. Tulosta tarkentaa, jos mittausintervallit otetaan 1 s välein, tässä helpottaa, jos mittalaite pystyy tallentamaan tulokset muistiin. Myös 5 s:n intervaleille voidaan käyttää. Välimatkana suolaliuoksen kaatamispaikasta mittalaitteelle pidetään matkaa, joka on 25 kertaa uomanleveys, mutta tämä voi vaihdella riippuen, miten hyvin suolaliuos sekoittuu virrassa koko uoman leveydelle (Moore 2005). Sähkönjohtavuusmittapisteellä odotetaan, että sähkönjohtavuus alkaa nousta, saavuttaa huippunsa ja hiipuu taas uoman sähkönjohtavuuden perustasolle. Tämä voi kestää muutamasta minuutista pariin kymmeneen minuuttiin.

2.7.2 Suolapulssimenetelmän ympäristövaikutukset

Suolapulssi menetelmässä voidaan käyttää peruspöytäsuolaa, joka on edullista, mutta menetelmässä pohdituttaa paljon, että miten se vaikuttaa ympäristöön. Moore kertoo artikkelissaan, että suolan määrä on hyvä rajata minimiin, kuitenkin niin, että suolan määrä vaikuttaa sähkönjohtavuuden nousemiseen selkeästi. Vaikutukset ovat Mooren mukaan hetkellisiä ja pidempiaikaisia vaikutuksia ei ole. (Moore 2004.)

Wood ja Dykes (2002) ovat tutkineet paikallisesti suolan käyttöä suolapulssimenetelmissä Britanniassa. Tutkimus tehtiin vain muutamalla joella ja pitempiaikainen tarkkailu jäi siinä vähiin. Tutkimuksessa havaittiin, että suolapitoisuus nousee hetkellisesti suuresti, mutta sähkönjohtavuus palaa takaisin normaalisti jo 15 min aikana. Suola vaikuttaa kuitenkin vesissä elävien selkärangattomien ajelehtimiseen virtauksessa 24 h ajan, mutta vaikutus oli vain tiettyihin eliölajeihin ja vaikutus oli vain paikallista. Tutkimuksessa pidettiin epätodennäköisenä, että vaikutus olisi jäänyt pitkäaikaiseksi. Tutkimuksissa oli lisäksi yhdessä tutkimusjoessa ylivirtaamakausi menossa, mikä jo sinänsä pystyi vaikuttamaan tuloksiin, koska virtaamaolosuhteiden muutokset voivat vaikuttaa paljonkin eri eliöstöjen liikkumiseen. Tutkimuksessa ei havaittu vaikutuksia

makroselkärangattomien pohjaeläinten yhteisöjen runsauteen. (Wood & Dykes 2002.)

2.8 WSFS Vemala

Suomen ympäristökeskuksen vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä Vemalalla pystytään simuloimaan Suomen vesistöjen vedenlaatua, sekä muun muassa analysoimaan kuormituslähteiden osuutta vesistöihin vaikuttavista ravinteista sekä kuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutusta. Vemalassa myös ilmastonmuutoksen tuomia vaikutuksia voidaan huomioida sekä ajaa erilaisia skenaarioita esimerkiksi miten erilaiset toimenpiteet vaikuttavat muutokseen. (Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus... 2023.)

Vemalan WSFS-mallilla taas voidaan simuloida vesistöjen hydrologista kiertoa, veden liikkumista vesistöissä (esimerkiksi sadannasta maaperään sekä vesistöihin, haihduntaa vesistöistä sekä valumaa meriin). Malli ottaa huomioon lumipeitteet, pohjavedet ja maakosteuden. WSFS-mallilla voidaan arvioida myös tulvariskejä, ennakoida jääpatoja ja arvioida sekä ennustaa uomien virtauksia. Vemalaa pidetään yllä jatkuvasti ja päivitetään päivittäin. Vesistöennusteissa käytetään vertailuaineistoina havaintotietoja, jota on kerätty vuodesta 1962 eteenpäin. (Vesistömallijärjestelmä (WSFS-DEMALA) s.a.)

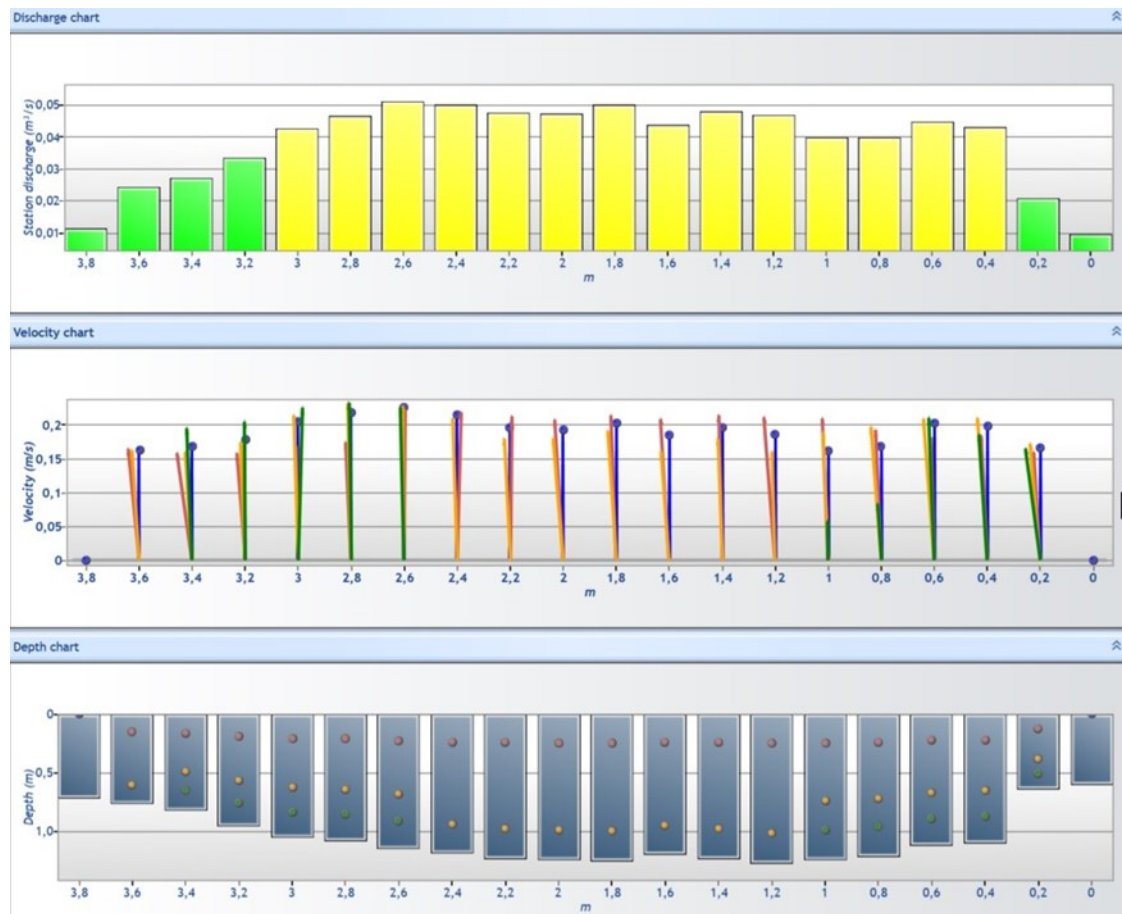
3 TUTKIMUSAINESTO JA MENETELMÄT

3.1 Purkautumiskäyrän määrittäminen Urpolanjoesta

Purkautumiskäyrää varten tässä opinnäytetyössä päämittausmenetelmänä virtaamien mittaamisessa käytettiin Sontekin valmistamaa kannettavaa Flow Tracker 2 -virtaamamittaria, joka perustuu akustiseen luotaukseen. Tuloksien luotettavuutta tehostettiin mittausajanjakson alussa suorittamalla virtaamamittauksia myös suolapulssimenetelmällä. Virtaamatuloksia saatiin myös ELY-keskukselta (Elinkeino-, Liikenne- ja ympäristökeskus), joita suoritettiin keväällä ja kesällä 2023 samalta kohdalta kuin Flow Tracker 2:lla. Saatuja virtaamatuloksia verrattiin Flow Trackerin tuloksiin, jolloin nähtiin, oliko niiden välillä paljon eroja. Virtaamatulosten luotettavuutta pohjustettiin myös käyttämällä

standardia SFS-EN ISO 748:2021, joka antoi ohjeita mittauspaikan valitsemiseen ja mittausmenetelmään. Saatuja tuloksia verrattiin lisäksi Urpolanjoelta mitattuihin vanhoihin mittaustuloksiin, jolloin nähtäisiin, olivatko virtaamat muuttuneet muutostöiden takia.

Mittaukset suoritettiin kentällä työparin kanssa, jolla huolehdittiin työturvallisuudesta. Mittauksien rinnalla virtaamien ennustamisessa käytettiin apuna vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmää Vemalaa. Vemalaa käytettiin vain ennustamaan ylivirtaaman huippu, jotta virtaamamittauksissa päästäisiin suorittamaan mahdollisimman lähellä virtaamahuippua. Tämän takia Vemalasta käytettiin vain hydrologiaa simuloivaa WSFS-mallia.



Kuva 10. Virtaamamittauksen dataa uoman leveydeltä yhdeltä Flow Trackerin mittauskerralta (4.5.2023): 20 mittauspistettä, joista näkee virtaaman mittakohdalta, virtaaman suunnan mittapisteiltä, syvyyspisteiden määrän ja näiden syvyyden. Uoman päistä ei mittauksia ole, koska ne olivat alkupisteet, joissa siltarakenteet tulivat vastaan.

Flow Trackerilla mittauskohdasta kertyi mittapisteitä 20 kappaletta (kuva 10) uomien leveyden ollessa 3,5 m. Mittapisteen mittausajaksi laitteeseen oli asetettu 40 s (ylitti standardin 30 s minimimittausajan), jolloin mittauskerran kokonaismittausajaksi tuli noin 1h 30 min. Jokaisen mittauskerran jälkeen laitteelta siirrettiin mittaustulokset USB-kaapelin avulla tietokoneelle. Tulosten tarkistamiseen ja käsittelyyn käytettiin laitteen omaa Sontekin työpöytäsovellusta (FlowTracker2), josta tulokset voitiin siirtää esimerkiksi Exceliin CSV-tiedostona ja siten muodostamaan kaavioita. Laitteen oma FlowTracker2 -sovellus antaa laajasti tietoa mittauksista muun muassa virtaamista eri mittauspisteillä, lämpötilaa, tulosten luotettavuudesta, sijainnin (GPS), erilaisia syvyystietoja uomasta ja tietoja diagnostiikasta (liite 4).

3.2 OTT MF Pro -virtaamamittaukset

Etelä-Savon ELY-keskus suoritti keväällä ja kesällä 2023 samoihin aikoihin Urpolanjoessa virtaamamittauksia. Mittauksia suoritti ELY-keskuksen vesitaloussuunnittelija Santeri Hämäläinen sähkömagneettisuutteen perustuvalla OTT MF Pro -virtaamamittarilla. Virtaamamittauksia suoritettiin 23 kpl mittausajanjakson aikana. Näitä tuloksia käytettiin tutkimuksessa vertailuun Flow Tracker 2:n tuloksien kanssa, jotta nähtiin ovatko virtaamat samansuuntaisia ja lähellä toisiaan, vai ovatko virtaamat mittareiden välillä aivan erilaiset. ELY-keskukselta on annettu lupa käyttää heidän mittaustuloksiansa tässä opinnäytetyössä.

OTT MF Pro -virtaamamittari perustuu elektromagneettisuuteen, joten se on toimintaperiaatteeltaan erilainen kuin Flow Tracker 2. Mittauspisteitä otetaan samalla tavoin useampia uomien leveydeltä ja syvyyksistä vaihdellen virtaamavaihteluiden mukaan.

3.3 Suolapulssimenetelmä

Suolapulssikoemenetelmällä mittauksia suoritettiin neljä kappaletta. Tuloksia käytettiin antamaan luotettavuutta Flow Tracker 2:n virtaamatuloksiin. Urpolanjoessa suolapulssimenetelmänä kokeiltiin suolaliuoksen kertasyöttöä virtaan (slug injection) ja menetelmän mallina oli käytetty R.D. Mooren mallia artikkelisarjasta Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement (2002; 2003; 2005). Opinnäytetyön sähkönsäätömittarina käytettiin

YSI ProDS-multiparametriveredenlaatumittaria, joka oli kalibroitu ennen mittauksia 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kalibrointiliuoksella.

Kalibrointisuoran muodostettiin ennen suolaliuoksen valmistusta kappaleessa 2.10 esitetyn tavan mukaan. Kalibrointisuoran (liite 7) muodostuksen jälkeen valmisteltiin suolaliuos. Urpolanjoen suolapulssin suolaliuoksessa käytettiin 6 l vettä kohden 1 kg suolaa (kuva 11), tällöin suola vielä liukeni veteen, sillä suolan määrä on alle 20 % kokonaistilavuudesta, jolloin suola vielä liukenee veteen hyvin (Moore 2005). Suolana menetelmässä käytettiin Meiran jodioitua ruokasuolaa.



Kuva 11. Suolaliuoksen valmistelua. Sekoitus suoritettiin puukepillä. Tässä vaiheessa pitää huolehtia, että suola liukenee täydellisesti veteen, jotta uomaan kaatamisen jälkeen liuos sekoittuu nopeasti virtaavaan veteen. (Kuva Aki Mykkänen)

Suolaliuoksen kaatamishetkellä aloitettiin mittaamaan sähkönjohtavuutta kaatokohdan alapuolelta, riittävän välimatkan päästä (noin 25 kertaa uoman leveys), myös ajanmittaaminen aloitettiin. Mittauksen intervalliaikana käytettiin 1 s. Sähkönjohtavuusmittarilla pystyttiin hyvin havaitsemaan suolapitoisuuden nousu uomassa. Mittaustulokset nousevat, kunnes suola on virran mukana mennyt, jolloin lukemat alkavat palautua uoman normaalille perussähkönjohtavuuden tasolle. Virtaama voidaan näin laskea, kun tiedetään sähkönjohtavuuden muutokset ja suolapulssin pituus sekä etenemisnopeus. Virtauksen laskemiseen on olemassa tietokoneohjelmia (Linjama 2016), mutta tässä testauksessa dataa ja laskuja käsiteltiin Excelillä. Kentällä tapahtunut suolapulssin mittauskerta kesti noin 30 minuuttia.

Sähkönjohtavuustuloksia taltioitiin aina suolaliuoksen kaatamisesta asti, sen saavutettua huippunsa ja vielä niin pitkään, kunnes sähkönjohtavuus oli saavuttanut uoman sähkönjohtavuuden perustason, sekä vielä hieman sen jälkeenkin. Tulokset siirrettiin laitteelta USB-kaapelin avulla Exceliin. Jokaisesta mittauskerrasta saatiin laaja tulostaulukko (liite 6), josta jokaisesta mitatusta tuloksesta katsottiin erotus uoman sähkönjohtavuuden perustasaan ja nämä summattiin yhteen. Lopulta oli saatu kaikki arvot, jolla pystytään ratkaisemaan virtaama kappaleessa 2.7.1 esitetyllä kaavalla (liite 8).

3.4 Vanhat Urpolanjoen mittaukset

Urpolanjoesta on vuosien varrella tutkittu vedenkorkeuksia sekä tehty myös virtaamamittauksia ja muodostettu näiden avulla purkautumiskäyrä. Vanhat virtaamamittaukset vuosilta 2012–2017 (liite 1). Vanha purkautumiskäyrä kuitenkin välttämättä ei enää päde, koska patojen purkamisen ja uoman muokkauksen kautta virtaamat ovat voineet muuttua. Vanhan purkautumiskäyrän virtaamamittaukset vuodelta 2012 on suoritettu myllyn yläpuolisen pohjapadon kohdilta ELY-keskuksen toimesta. Mittaajina ovat toimineet Matti Tissari ja Markku Mäkeläinen. Mittaukset on suoritettu OTT:n siivikolla. (Muuri 2023b.) Vanhoja tuloksia verrattiin uusiin virtaamatuloksiin, jotta nähtäisiin, että ovatko virtaamat muuttuneet muutostöiden seurauksena.

3.5 Vedenkorkeusmittaukset

Vedenkorkeusmittauspisteenä käytettiin mittapaalua (kuva 12), joka on aikoi-
naan tarkastettu (vuonna 2001) valtakunnalliselta kiintopisteeltä 313, joka si-
jaitsee Urpolan kartanon edessä (liite 10) (Muuri 2023a). Mittaustaulun luotet-
tavuutta korjattiin ensimmäiseksi puhdistamalla mittataulukkoa selvemmäksi
lukea. Mittaustuloksen lukeminen perustui visuaaliseen tuloksen lukemiseen
mittataulukolta, jossa on merkattu senttimetrin välein korkeus. Vedenkorkeus
luettiin siitä kohtaan, missä oli veden pinta taulukossa.



Kuva 12. Vedenkorkeusmittapaalu, jossa näkyy mitta-asteikko 1 cm välein. Pienemmästä ku-
vasta voidaan lukea mitta-asteikolta korkeuden olevan hieman alle 70 cm. Välillä mitta-as-
teikon eteen kertyi roskia, jotka haittasivat mitta-asteikon lukemista. (Kuva Panu Immonen)

Vedenkorkeudet muutettiin myös N60- ja N2000-korkeusjärjestelmään, jotta
tuloksia on helpompi vertailla esimerkiksi ELY-keskuksen tulosten kanssa.

N60-korkeusjärjestelmä perustuu Suomen toiseen valtakunnalliseen tarkkavaaitukseen ja ne on laskettu vuonna 1960. N2000-järjestelmä on kolmas valtakunnallinen tarkkavaaitus, joka on valmistunut 2006. N2000-järjestelmä kehitettiin, koska vuoden 1960 mittauksista maannousu on aiheuttanut jopa 40 cm eroja. (Poutanen 2006.) Korkeus vedenkorkeusmittapaalun 0,0 m tasolla on N60-järjestelmässä 87,69 m. N2000-järjestelmän ero taas N60-järjestelmään on +0,25 m.

3.6 Virtaamien ja vedenkorkeuden mittauspaikat

Flow Tracker 2:n mittauspaikka sijaitti Urpolanlammen ja Kattilanlahden välisellä osuudella (kuva 13). Kohteen koordinaatit ovat N: 6837982,347 ja E: 514122,800 (ETRS-TM35FIN). Syynä paikan valintaa oli, että kohdan vieressä sijaitti kiinteä vedenkorkeusmittapaalu ja se sopi paremmin standardin SFS-EN ISO 748:2021 antamiin ohjeistuksiin virtaamamittauskohdasta. Uoman kohdassa on suoraa ennen ja jälkeen mittauspaikan.



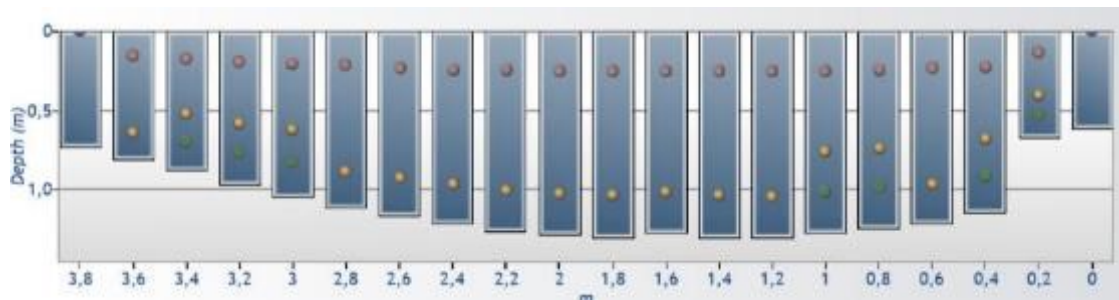
Kuva 13. Flow Tracker 2 -virtaamamittauspaikka sillan luona (Kuva Panu Immonen)

Mittauspaikka on merkitty karttaan (kuva 14). Myös ELY-keskus käytti samaa kohtaa omissa virtaamamittauksissaan. Kohdassa ei myöskään ole kaatuneita puita, mittauksia haittaavaa vesikasvillisuutta tai isoja kiviä. Virtaus on melko homogeenistä koko uoman leveydeltä, eikä kohdassa esiinny akanvirtoja tai

muita poikkeavia virtauksia. Lisäksi uoman poikkileikkaus ja kaltevuus ovat kohdassa melko tasaisesti eteneviä. Kohta ei ole myöskään liian syvä Flow Tracker 2:lla mitattavaksi (kuva 15). Kohdassa sijaitsee silta, mutta mittaukset suoritettiin sillan rakenteiden lopusta, jolloin sillan rakenteiden päätyminen ei vielä muodosta muuttuvia virtauksia.



Kuva 14. Kartta virtaamamittauspaikoista Urpolanjoella (Paikkatietoikkuna 2023, muokkaukset Panu Immonen)



Kuva 15. Flow Tracker 2:n mittauspaikan uoman syvyydet ja leveys (4.5.2023). Data saatu mittalaitteen mittausdatasta. Maksimi syvyys on ollut n. 1,3 m ja uoman leveys 3,8 m. Uoman päätyy molemmista päistä sillanrakenteisiin.

Suolapulssimenetelmän mittaukset suoritettiin Urpolanjoen myllyrakennuksen kohdalla mutta testimielessä menetelmää kokeiltiin myös vähemmän virtaavampaan kohtaan Urpolanlammen luusuan kohdalla sijaitsevalta sillalta. Suolapulssi laskettiin veteen myllyn yläjuoksulta ja sähkönjohtavuus mitattiin alajuoksulta. Suolapulssimenetelmään käytetyt paikat ovat myös merkitty karttaan (kuva 14).

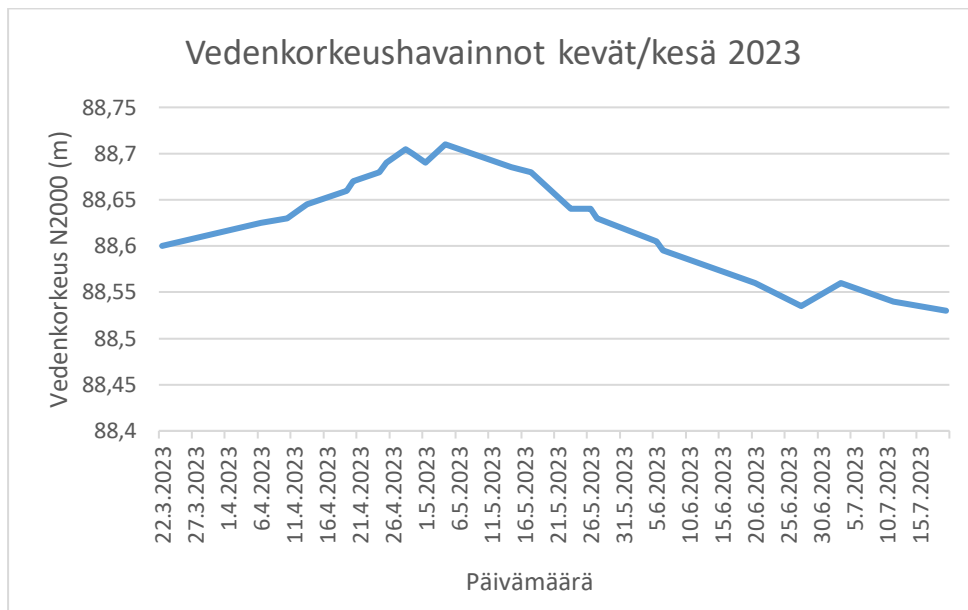
4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Vedenkorkeustulokset

Mittausajanjakson aikana saatiin otettua 26 kappaletta vedenkorkeushavaintoa Urpolanjoen mittapaalusta (taulukko 3). Matalin mitattu tulos oli 0,59 m (19.7.2023) ja korkein 0,77 m (4.5.2023). Vedenkorkeustulokset nousivat kohti huhtikuuta, saavuttavat huippunsa toukokuun alussa, jonka jälkeen mitatut vedenkorkeudet alkoivat laskea hiljalleen kohti kesän loppua (kuva 16). Vedenkorkeudet muutettiin sekä N60-, että N2000-korkeusjärjestelmän korkeuksiin, jotta ne ovat vertailukelpoisempia. Vedenkorkeusmittauksien mittausväliä tiennettiin Vemalan ylivirtaamaennusteen maksimin lähentyessä, joka sijoittui huhtikuun ja toukokuun vaihtumisen välille.

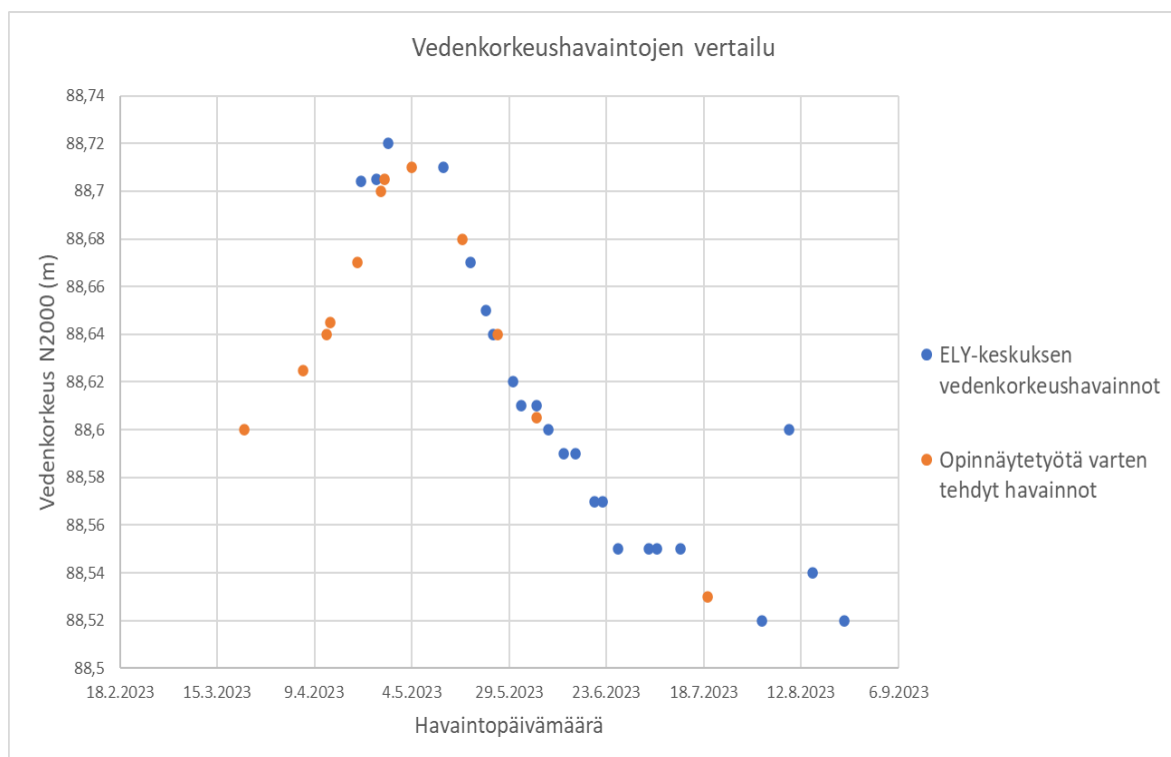
Taulukko 3. Vedenkorkeushavainnot kevät/kesä 2023. Punaisella on merkattu korkein mitattu arvo.

Vedenkorkeushavainnot kevät/kesä 2023			
pvm.	mitattu korkeus (m)	N60 korkeus (m)	N2000 korkeus (m)
22.3.2023	0,66	88,35	88,6
6.4.2023	0,685	88,375	88,625
10.4.2023	0,69	88,38	88,63
12.4.2023	0,7	88,39	88,64
13.4.2023	0,705	88,395	88,645
19.4.2023	0,72	88,41	88,66
20.4.2023	0,73	88,42	88,67
24.4.2023	0,74	88,43	88,68
25.4.2023	0,75	88,44	88,69
26.4.2023	0,755	88,445	88,695
28.4.2023	0,765	88,455	88,705
29.4.2023	0,76	88,45	88,7
4.5.2023	0,77	88,46	88,71
1.5.2023	0,75	88,44	88,69
14.5.2023	0,745	88,435	88,685
17.5.2023	0,74	88,43	88,68
23.5.2023	0,7	88,39	88,64
26.5.2023	0,7	88,39	88,64
27.5.2023	0,69	88,38	88,63
5.6.2023	0,665	88,355	88,605
6.6.2023	0,655	88,345	88,595
20.6.2023	0,62	88,31	88,56
27.6.2023	0,595	88,285	88,535
3.7.2023	0,62	88,31	88,56
11.7.2023	0,6	88,29	88,54
19.7.2023	0,59	88,28	88,53



Kuva 16. Vedenkorkeushavainnot kaaviona. Vedenkorkeudet olivat huipussaan huhtikuun ja toukokuun vaihteessa, josta ne laskivat pikkuhiljaa kohti heinäkuuta.

Kevät 2023 osoittautui kuivaksi ja sadetta tuli enemmän vain muutamana päivänä (huhti- ja toukokuun sademäärät näkyvät liitteessä 5) (Mikkelin lentoasema s.a.). Sateiset vuorokaudet 27.4 ja 2.5 heijastuivat vedenkorkeuksiin muutaman vuorokauden viiveellä ja 2.5 tapahtuneet runsaat sateet nostivat vedenkorkeudet kevään korkeimpaan tulokseen 4.5.2023.



Kuva 17. Vedenkorkeushavaintojen vertailu. Tulokset ovat pääosin hyvin lähellä toisiaan. ELY-keskus jatkoi korkeushavaintojen tallentamista vielä elokuulle.

Mitattuja vedenkorkeuksia verrattiin ELY-keskuksen mittauksiin, jotka otettiin eri mittauspisteestä (noin 200 m päästä), joka oli kuitenkin tarkkuusvaaitettu samasta kiintopisteestä 313. Muodostetusta graafista (kuva 17) voidaan huomata, että suurin osa tehdyistä vedenkorkeushavainnoista ovat hyvin lähellä toisiaan.

4.2 Virtaamat

Suolapulssin virtaamatulokset nousivat samassa suhteessa vedenkorkeuksien kanssa, kuten virtaamille kuuluisikin käydä (taulukko 4). Aikataulullisesti oli haastavaa tehdä samana päivänä sekä Flow Tracker 2, että suolapulssimitauksia, joten pääpaino oli Flow Trackerin virtaamamittauksille.

Flow Tracker 2 virtaamatuloksia saatiin 12 kappaletta (taulukko 4). Virtaamatulokset noudattivat vedenkorkeuksia, eli virtaamat kasvoivat huhtikuun ajan, kunnes saavuttivat huippunsa 4.5 (mitattu virtaama oli 1,12 m³/s). Toukokuun huipusta virtaamat alkoivat laskea tasaisesti. Kesäkuun lopulle suunniteltu mittauskerta täytyi siirtää kesäkuussa tapahtuneiden runsaiden sateiden takia. Viimeinen mittaus (mitattu virtaama oli 0,16 m³/s) suoritettiin heinäkuussa

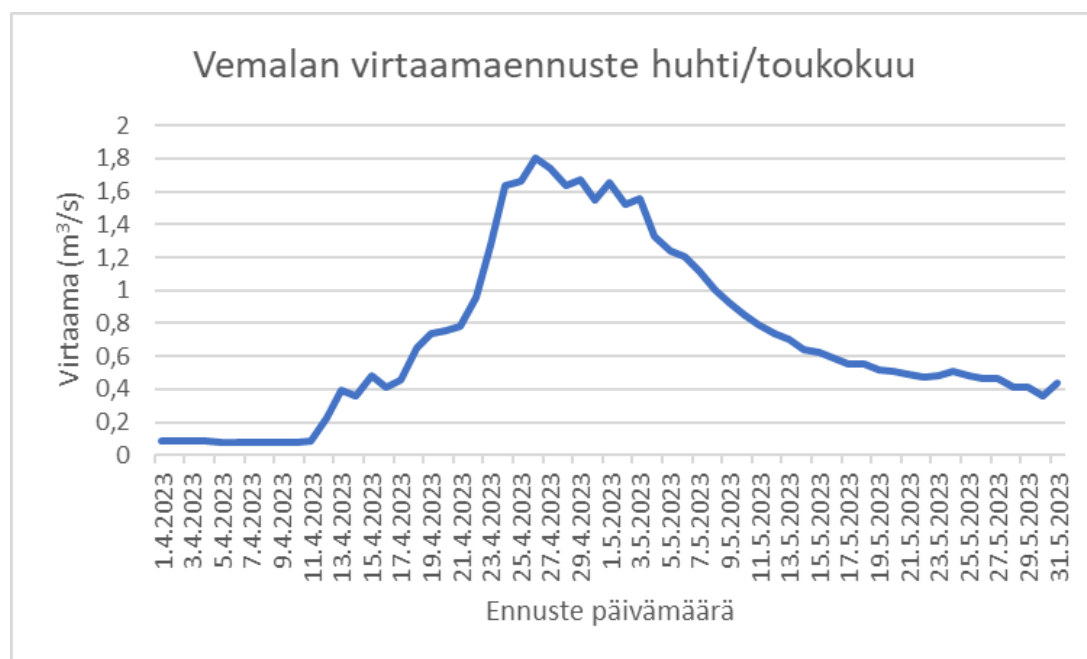
19.7.2023, jotta päästiin kiinni mahdollisimman alhaisiin virtauksiin tutkimuksen aikana. Alivirtaamaa ei mittausajanjakson aikana saavutettu.

Taulukko 4. Flow Traker 2 ja suolapulssin virtaamamittauksen tulokset

pvm.	N2000 korkeus (m)	Flow Tracker 2 virtaama (m ³ /s)	Suolapulssin virtaama (m ³ /s)
22.3.2023	88,6	0,30	0,23
6.4.2023	88,625	0,50	0,59
12.4.2023	88,64	0,56	0,64
13.4.2023	88,645	0,60*	
20.4.2023	88,67	0,77	0,71
26.4.2023	88,695	0,95	
28.4.2023	88,705	1,03	
4.5.2023	88,71	1,12	
17.5.2023	88,68	0,80*	
26.5.2023	88,64	0,55	
5.6.2023	88,605	0,37	
19.7.2023	88,53	0,16	

Punaisella korostettu mittausten korkeimmat tulokset
 *-merkattu mittauskerrat, jolloin otettu rinnakkaismittaus

Vemalan virtaamaennuste osoittautui olevan ennenaikainen ylivirtaaman osalta (liite 9). Vemala ennusti virtaamahuipun tapahtuvan 26.4.2023, jolloin virtaamat olisivat parhaimmillaan 1,8 m³/s. Flow Tracker 2:lla mitatut virtaamat olivat kuitenkin huipussaan 4.5.2023, jolloin mitattiin virtaamaksi 1,12 m³/s.

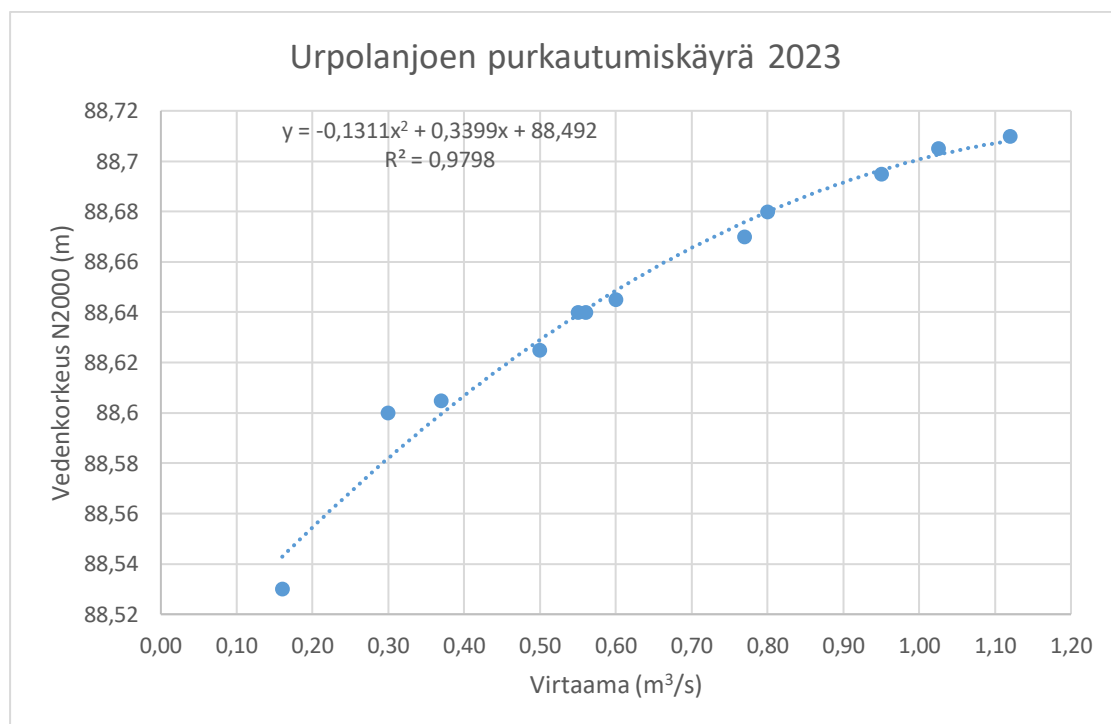


Kuva 18. Vemalan virtaamaennusteet huhtikuun loppuun ja toukokuulle. Ennuste on otettu ulos Vemalasta 25.4.2023. Virtaamahuippu Vemalan mukaan olisi tapahtunut 26.4.

Vemalan ennustetta olisi kuitenkin saanut tarkemmaksi, jos ohjelmasta olisi otettu virtaamaennusteita päivittäin ulos ylivirtaamaa lähestyttäessä. Tässä tutkimuksessa Vemalan ennusteet olivat vain suuntaa antavia, jotka auttoivat kuitenkin tihentämään virtaamamittauksia ylivirtaamaennusteen lähestyessä. Vemalan virtaamaennusteet otettiin ulos ohjelmasta 25.4.2023 (kuva 18).

4.3 Uusi purkautumiskäyrä

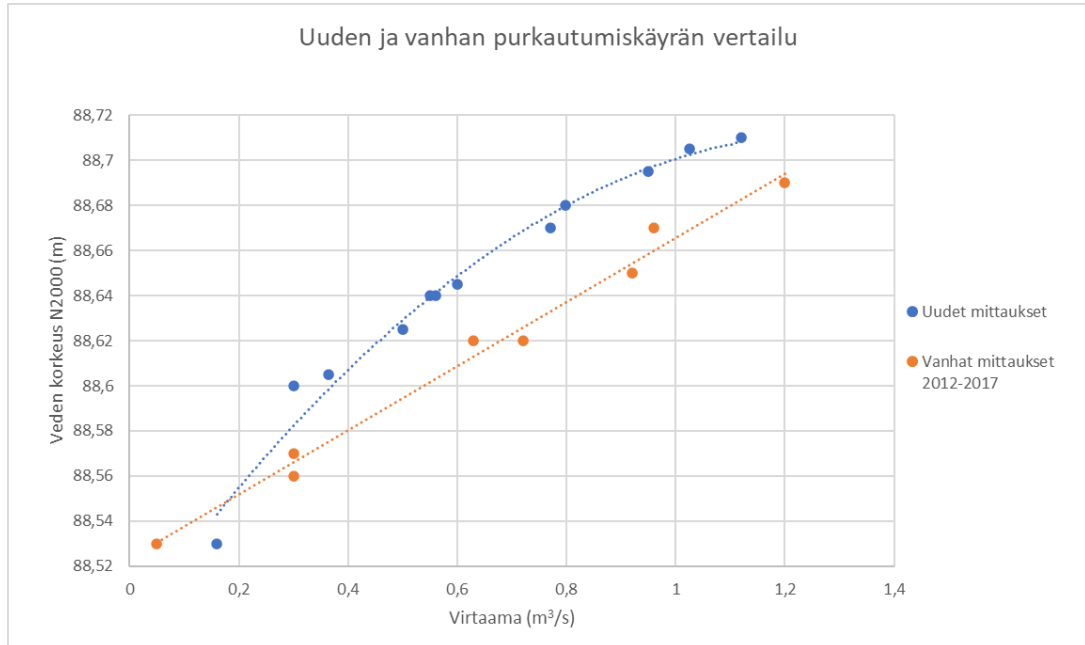
Mitatuista virtaama- ja vedenkorkeustuloksista muodostettiin uusi purkautumiskäyrä Urpolanjoelle (kuva 19). Muodostetun käyrän tulokset muodostavat polynomisen trendiviivan, josta saadaan kaavion avulla funktio $y = -0,1311x^2 + 0,3399x + 88,492$.



Kuva 19. Flow Tracker 2 tuloksilla muodostettu purkautumiskäyrä Urpolanjoesta

Flow Trackerin virtaamamittaukset osuvat hyvin linjaan keskenään polynomiselle trendiviivalle, vain yksi tulos hieman poikkeaa linjalta (22.3.2023 tapahtunut mittauskerta, joka oli mittausajanjakson ensimmäinen mittauskerta). Flow Trackerilla suoritettiin lisäksi kaksi kertaa rinnakkaismittaukset (13.4 ja 5.6.2023). Tällöin mittauksista toinen otettiin oikealta mittauspaikalta ja toinen alajuoksulta noin 500 m päästä (kuva 14). Virtaamamittauksista ei rinnak-

kaismittauksissa tullut eroja, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Uudelle purkautumiskäyrälle saatiin myös selitysaste $R^2 = 0,9798$, joka on korkea, eli purkautumiskäyrän malli selittää hyvin Flow Trackerillä hankittua dataa.



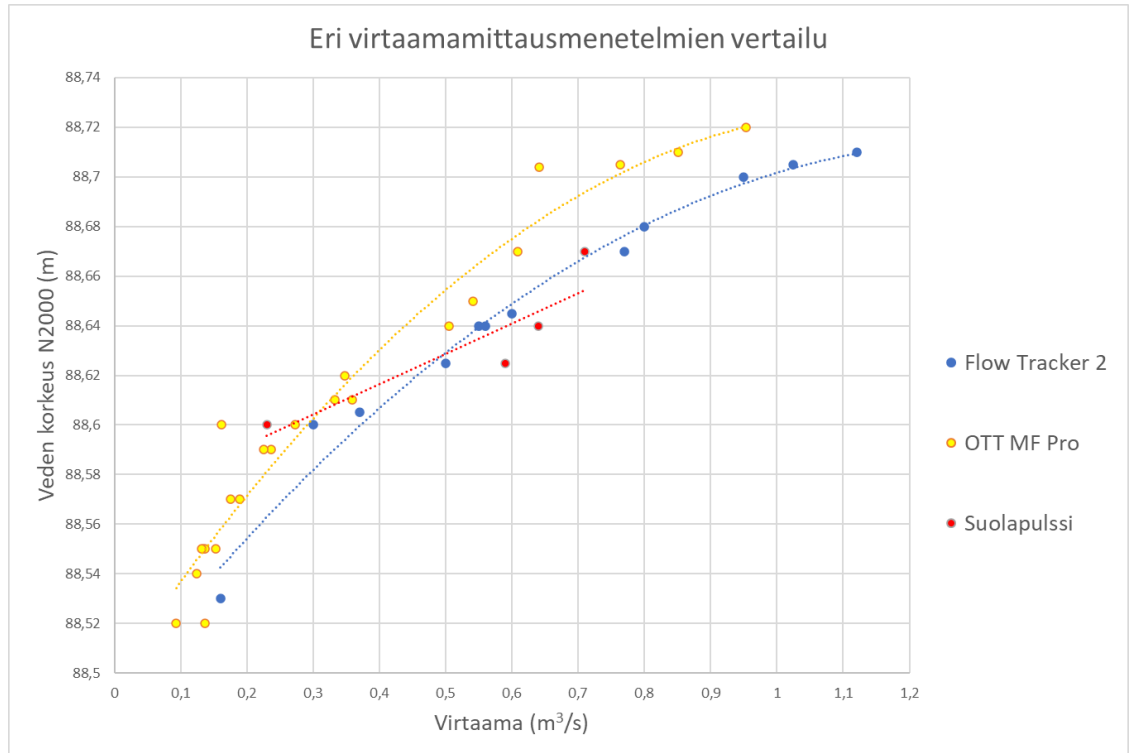
Kuva 20. 2023 mittausten ja vuosien 2012–2017 mittauksista muodostetun purkautumiskäyrän vertailu

Flow Trackerin ja vanhojen virtaamamittausten pohjalta tehtiin purkautumiskäyrien vertailukaavio (kuva 20). Vanhat mittaukset muodostavat lineaarisen trendilinjan, kun uusi käyrä on polynominen. Vertailusta selviää, että vuonna 2023 mitatut virtaamat ovat alhaisempia kuin vanhan käyrän samoilla korkeuksilla. Erona tähän on mittausajanjakson alhaisin virtaamatulos ($0,16 \text{ m}^3/\text{s}$), joka on korkeampi, kuin vanhan virtaamamittaussarjantulos samalta korkeudelta.

4.4 Eri menetelmin saatujen virtaamatulosten vertailu

Flow Tracker 2:n, ELY-keskuksen OTT MF Pron sekä suolapulssimenetelmän virtaamatulokset yhdistettiin kaavioon rinnakkain (kuva 21). Suolapulssimitauksia suoritettiin vain huhtikuun ajan, mutta tulokset ovat samansuuntaiset verrattuna toisiin menetelmiin, joihin muodostui vain pieniä eroja alle ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$). Otanta suolapulssimenetelmällä on kuitenkin pieni ja myös tulokset selvästi heittelevämpiä. Selkeää trendiviivaa on vaikea muodostaa noin vähäisellä otannalla.

Flow Tracker 2:lla ja OTT MF Prolla saatuja virtaamatuloksia verratessa Flow Trackerin virtaamatulokset ovat isompia samoilla korkeuksilla. Käyrät ovat ali-virtaamaa lähestyttäessä lähellä toisiaan, mutta vedentason noustessa uo-massa ero virtaamatulosten välillä alkaa kasvaa.



Kuva 21. Flow Tracker 2:n, OTT MF Pron ja suolapulssimenetelmän virtaamatulosten vertailu

Erojen syyn selvittely vaatisi molempiin mittareihin hyvää perehtymistä sekä työskentelymetodien purkamista ja vertailua. ELY-keskuksen mittauksissa käytettiin kuitenkin eri vedenkorkeusmittaamispistettä (mittapiste oli myös tarkkuusmitattu kiintopiste 313:sta) sekä OTT MF Pron virtaamamittauspaikka oli noin yhden metrin päässä Flow Trackerin 2:n mittauspaikasta. Tällä kohdalla uoma on leventynyt noin metrin verran, mikä johti siihen, että OTT MF Pro-mittauksissa käytettiin uomanleveydeltä 22 mittauspistettä. ELY-keskuksen mittaukset aloitettiin huhtikuun lopulla ja jatkuivat elokuulle (liite 3).

4.5 Epävarmuustekijät

Tutkimuksessa havaittiin epävarmuustekijöitä, joita oli syytä ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Vaikuttavia epävarmuustekijöitä kohdattiin niin eri virtaamamittauksissa, että vedenkorkeushavainnoinnissa sekä datan käsittelyssä.

4.5.1 Vedenkorkeuden havainnointi

Vedenkorkeusmittauksien havainnointiin ei käytetty kuin yhtä menetelmää. Tästä nousevaa epävarmuustekijöitä pyrittiin vähentämään tulkitsemalla korkeustaulukon lukemaa välillä Xamkin tutkimus, kehitys ja innovaatiotoiminnan (TKI) projektitutkija Aki Mykkäsen sekä ELY-keskuksen vesitaloussuunnittelija Santeri Hämäläisen kanssa. Taulusta otettiin myös kuva, jotta tulkintaa voitiin suorittaa myös jälkikäteen. Täysin vedenkorkeuden mittapaalun luotettavuutta ei voida täysin pitää varmana, sillä mittapaalu on voinut siirtyä viimeisimmän korkeustarkistuksen jälkeen. Tätä ei kuitenkaan tue vedenkorkeushavaintojen vertailu (kuva 17), joissa monet tuloksista osuvat lähelle tosiaan. Virheitä on myös voinut syntyä, kun mittapaalun vedenkorkeustulosta on muutettu N60 ja N2000 korkojärjestelmän korkeuksiin.

4.5.2 Flow Tracker 2:n epävarmuustekijöistä

Epävarmuustekijöitä pyrittiin vähentämään Flow Tracker 2:n virtaamamittauksista ottamalla mittauksia myös suolapulssimenetelmällä sekä vertailemalla Flow Tracker 2:n virtaamamittauksia ELY-keskuksen mittaustuloksiin. Virtaamamittaukseen käytettiin myös mahdollisimman hyvin standardia SFS-EN ISO 748:2021, jotta mittauspaikka, -pisteet ja mittausmenetelmät olisivat ohjeistuksen mukaisia. Haasteena kuitenkin oli, että alue on luonnonsuojelualuetta ja maastoa ei saanut muokata, jotta se olisi ollut sopivampaa mittauksille (esimerkiksi kaatuneiden puiden raivaus).

Flow Tracker 2:n virtaamamittauksissa tulosten virheellisyyttä vähennettiin laitteeseen perehdytyksellä, jotta laite olisi tutumpi käyttää ennen ensimmäistä kertaa ja tulokset olisivat luotettavampia. Laitteelle tehtiin myös mittaustutkimusten yhteydessä suomenkielinen käyttöohje, joten laitteeseen joutui perehtymään hyvin. Flow Tracker 2:n perustuu äänisignaaliin ja äänen nopeuteen vedessä vaikuttavat veden lämpötila ja suolaisuus. Lämpötilan vaikutuksen laite osaa ottaa huomioon dataa mitattaessa. Suolaisessa vedessä laitteenkäyttäjä pystyy määrittämään suolaisuusasteen ja jättämään suolaisuuden vaikutuksen mittaustulokseen pois. Äänen nopeuteen liittyvät virheet ovat Sontekin mukaan mitättömiä (alle 0,25 %). (SonTek FlowTracker2 Handheld-ADV s.a.)

Laitteen anturin geometria kalibroidaan tehtaalla, joten kalibrointia ei tarvitse jälkikäteen enää suorittaa käyttäjän, ellei laite kärsi fyysisiä vaurioita, mitkä voivat muuttaa kalibrointia. Fyysistä vaurioista ei laitteessa ollut merkkejä. Laitteen mittapään ja päälaitteen välillä oleva datakaapeli on valmistettu niin, että se vähentää ulkopuolista elektronista häiriökohinaa.

Mittausta suorittaessa laite pyrittiin suuntaamaan mahdollisimman hyvin virtaaman suuntaiseksi, pitämään laite vakaana mittausten suoritusten ajan ja sijoittamalla laite mahdollisimman hyvin mittauslinjalle. Mittauslinjalle oli myös asetettu mittanauha, jotta mittauspisteet olisivat aina oikealla leveydellä. Mittanauha saatiin aina paikoilleen samaan kohtaan sillan rakenteisiin. Laitteen asettelua tarkalleen mittakohtaan häiritsivät paikoin isommat kivet uoman pohjassa, nämä voivat myös vaikuttaa pienissä määrin virtaamadataan Sontekin mukaan. Myös Sontekin laboratoriotestien mukaan laitteen mittapää sekä antura aiheuttavat virtaushäiriötä, jonka vaikutus on 1,0 % luokkaa mitattuihin virtaamatietoihin (SonTek FlowTracker2 Handheld-ADV s.a.). Flow Tracker 2:n käyttö vaatii, että vedessä on partikkeleita, jotta laitteen signaali palautuu vastaanottimelle. Urpolanjoesta laite antoi vain ensimmäisellä mittauskerralla häiriötä huonon signaalin takia (johtuen partikkelien puutteesta vedessä). Ongelma ratkaistiin työparin sijoitettua 10 m päähän mittauspisteestä ja aiheuttaen uoman pohjaa sotkemalla partikkelien siirtymistä virran mukaan. Signaaliin vaikuttavat myös partikkelien muoto, koostumus ja koko (SonTek FlowTracker2 Handheld-ADV s.a.). Mittausvyöyden määrittämiseen käytettiin laitteen omaa syvyysanturia, mutta tämän tulos varmistettiin lukemalla laitteen mittavarressa olevaa mittataulukkoa. Laitteella lisäksi suoritettiin mittausajanjakson aikana kaksi kertaa rinnakkaismittaukset alajuoksulta. Myös alkuväen kylmyys häiritsi pitkäkestoiseen mittaukseen keskittymistä, vaikka tähän oli varauduttu lämpimällä varustuksella.

4.5.3 Suolapulssin epävarmuustekijät

Suolapulssimenetelmässä mitatut perussähkönjohtavuustasot aina erosivat pienissä määrin itse mittaushetken uoman perussähkönjohtavuudesta, tämä antoi epävarmuutta tuloksiin. Sähkönjohtavuuden vaihtelu on voinut johtua sulamisvesien mukana tuomista epäpuhtauksista virtaavaan veteen, koska mittaukset suoritettiin sulamisvesien aikaan. Perustason sähkönjohtavuuden tuloksissa tapahtuneet heitot olivat kuitenkin pieniä, mutta vaikuttavat kuitenkin

siihen, miten suolapulssin sähkönjohtavuuden aiheuttamaan käyrän laskua perustason tasolle tulkitaan. Suolapulssimenetelmää testattiin myös muu-
missa eri kohdissa Urpolanjokea. Näissä huomattiin, että uomassa täytyy olla
hyvä virtaus, että suola sekoittuu hyvin ja kulkeutuu virran mukana. Mene-
telmä tuntuikin olevan tehokkain juuri joen virtaavimmissa kohdissa (myllyn
kohta). Sähkönjohtavuuden mittausspaikka ei kuitenkaan saa olla liian kaukana
suolan sekoituspaikasta, jotta selvä suolan aiheuttama sähkönjohtavuuden
nousu havaittiin, tässä auttoivat aiheesta luodut oppaat. Menetelmässä täytyy
olla myös tarkkana mittojen ja tilavuuksien kanssa, kun suoritetaan kalibrointi-
suoraa, jotta huolimattomuudella ei luoda tuloksiin epävarmuutta. Vaikeata on
arvioida, miten paljon suolapulssista imeytyi rantaan tai jäi myllyn kalaportai-
den pyörteisiin pyörimään. Menetelmästä ei lisäksi ole paljon suomenkielistä
kirjallisuutta, tämä on voinut vaikuttaa väärintulkkauksiin menetelmää tut-
kiessa.

4.5.4 Ympäristö ja datan käsittely

Keväällä 2023 Urpolanjoelta tehtiin havaintoja, jotka ovat voineet pienissä
määrin tuoda epävarmuutta virtaamamittauksiin: mittausspaikan yläjuoksulla
havaittiin majavan tekemiä puunkaatoja sekä puun kaadon valmisteluja (kuva
22), mutta selvää majavan patoa ei kuitenkaan alueelta löytynyt. Huhtikuussa
Urpolanlammesta tehtiin öljyhavaintoja, joiden takia Etelä-Savon pelastuslai-
tos asetti öljypuomia Urpolanlammen luusuaan (kuva 23). Öljypuomi oli pai-
koillaan 17–30.4.2023 Öljypuomi vaikuttaa varsinkin pintaveden virtaamaan,
mutta puomin sijainti oli yli 100 m virtaamamittauskohdasta, joten sillä ei ole
ollut merkitystä virtaamamittauksiin. Myös ympäristö voi vaikuttaa purkautu-
miskäyrällä tehtyihin virtaamaennusteisiin, sillä kasvillisuus muuttuu vuoden
eri aikoina ja voi vaikuttaa virtauksiin (Välimäki 2019).



Kuva 22. Majavan tekemiä jälkiä lähellä virtaamamittauspaikkaa. Selvää majavan muodostamaa patoa ei alueelta kuitenkaan löytynyt. (Kuva Panu Immonen)



Kuva 23. Öljypuomia levitettyä Urpolanlammen luusuassa. Puomi oli paikoillaan muutaman viikon. Vaikutusta puomilla on tuskin ollut, kuin vain pintavirtauksiin puomin lähistöllä alavirtaan päin. (Kuva Panu Immonen)

Tuloksia varten paljon dataa siirrettiin, käsiteltiin ja yhdistettiin erilaisilla tietokoneohjelmilla ja laitteesta toiseen. Datan käsittelyssä on voinut tulla virheitä jokaisessa edellä mainituissa vaiheissa, vaikkakin tietoja tarkisteltiin moneen otteeseen sekä niitä vertailtiin keskenään.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustuloksia saatiin hyvin kerättyä mittausajanjakson aikana. Virtaamamittauksia päämenetelmällä saatiin 12 kappaletta eri vedenkorkeuksilla, mikä on puolet enemmän, mitä hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirja ohjeistaa minimi määräksi.

Flow Trackerillä saatuja mittauksia voidaan pitää luotettavina, sillä vertailupohjana käytetyt tulokset tukevan saatuja Flow Tracker 2 -virtaamamittauksia. Tätä tukevat varsinkin ELY-keskuksen virtaamamittaustulokset. Myös vedenkorkeudet tuntuvat hyvin osuvat pääosin yhteen vertailussa. Tältä pohjalta myös uutta muodostettua purkautumiskäyrää voidaan pitää luotettavana.

Kun verrataan Flow Tracker 2:n mittauksilla muodostettua purkautumiskäyrää aikaisemmin tuotettuun dataan ja aiempaan purkautumiskäyrään, niin käyrät selvästi eroavat toisistaan. Uuden käyrän trendiviiva ei ole enää suora linja ja käyrien tulokset myös asettuvat eri tasoille. Uusi käyrä osoittaa pienempiä virtaamia Urpolanjoelle, paitsi lähestyttäessä alivirtaamaa.

Purkautumiskäyrien vertailusta voidaan päätellä, että Urpolanjoen muutos- ja patojenpurkutyöt ovat aiheuttaneet purkautumiskäyrään virtaamien hidastumista. Vesi ei pääse virtaamaan vapaammin, vaan Urpolanjoen ennallistamistyöt yllättävästi hidastavat uoman virtausta aikaisempia patoja tehokkaammin. Selvitetyillä virtaamatutkimuksilla ei voida kuitenkaan tarkemmin selvittää, että missä määrin eri ennallistamistyöt (maamassat, kalatiet ja patojen purkamiset) aiheuttavat virtaamien hidastumista.

Uudessa purkautumiskäyrässä vedenkorkeuden laskiessa alle 88,59 m (N2000) virtaaman hidastuminen hidastuu. Syynä tähän ilmeisesti on pohjapaan leikattu aukko, jolloin vesi pääsee alivirtaamaa lähestyessä purkautumaan vapaammin ja näin aiheuttaa virtaamien laskemisen hidastumista. Näin

myös Aluehallintoviraston lupapäätöksessä virtauksen haluttiinkin toimivan kuivankauden aikana. Tarkempi selvittäminen virtauksen käyttäytymisestä alivirtaaman aikaan vaatisi kuitenkin lisää tutkimisdataa. Myös käyrän yläpäässä vedenkorkeuden noustessa päälle 88,69 m (N2000) virtaamat alkavat kiihtyä, eli virtaus alkaa kiihtyä mitä lähemmäs ylivirtaamaa päästään. Eli uudessa purkautumiskäyrässä virtaama kiihtyy lähestyessä ylivirtaamaa, kun vanhassa käyrässä virtaama nousee tasaisesti lineaarisesti. Käyrän yläpään virtaamatuloksia on kuitenkin vain muutamia, joten tämän vahvistamiseen tarvitsisi vielä lisämittauksia.

Itä-Suomen aluehallintovirasto lupapäätöksen mukaan muutostyöt eivät muuta joen virtaamia (taulukko 1). Uusia mittaustuloksia ei voida verrata suoraan taulukossa esitettyihin virtaamiin, sillä vuoden 2023 mittauksissa ei saavutettu taulukon ali-, eikä ylivirtaaman virtaamia. Verrattaessa kuitenkin uusia mittauksia vanhoihin virtaama- ja korkeusmittauksiin, osoittavat tulokset, että virtaamat ovat hidastuneet.

LÄHTEET

Ahdelma, J. 2023. Urpolanlammen suojeleminen on ajanut Urpolan asukkaat ja Mikkelin kaupungin pahasti vastakkain: "Suunnitelmat ovat avuttomia ja lyhytnäköisiä". *Länsi-Savo* 19.7.2023. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.lansi-savo.fi/paikalliset/6079877> [viitattu 21.8.2023]

Dilution gaugin s.a. Boise state university. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.boisestate.edu/drycreek/educational-resources/dilution-gauging/#background> [viitattu 2.5.2023]

Fetter, C. 1994. Applied Hydrogeology. New Jersey: Merill Publishing Company.

Jaatinen, J. 2015. Mikkeli, Kaupunki muutoksessa. Helsinki: Libris.

Haakana, H. 2018. Vesistö opas. Suomen luonnonsuojeluliitto. Mikkeli: Tero-print

Haapamaa, J. 2013. Nesteen virtausmittausmenetelmät pienissä avouomissa. Tekniikan ja liikenteen ala. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/67516/Haapamaa_Jussi.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 31.8.2023]

Huttula, T., Leppäranta, M. & Virta, J. 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto. Fysiikan laitos. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/c85e235b-3b47-4243-9aa2-3e399ada2dcd/content> [viitattu 27.8.2023]

Hydrologisen seurannan kenttätöiden toimintakäsikirja. 1997. Hydrologisen seurannan ryhmä. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B38AA8CA8-B638-4DC9-A6EE-91E3B4BB88DF%7D/112245> [viitattu 21.8.2023]

Itä-Suomen aluehallintovirasto. 2022. Kalateiden rakentaminen Urpolanjoen patojen yhteyteen ja vanhan vesitalousluvan rauettaminen. Päätös. Nro 18/2022 Dnro ISAVI/3579/2021

Jaatinen, O. 2015. Mikkeli, Kaupunki muutoksessa. Mikkelin valokuvakeskus. Helsinki: Libris.

Jääpato s.a. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/sa-nasto/jaapato/> [viitattu 21.8.2023]

Korhonen, J. 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Yliopistopaino.

Koskela, J. 2018. Veden virtaaminen. Ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B2A03895F-DE4B-47E1-B579-8F3C89B7F5E5%7D/76336> [viitattu 10.3.2023]

Lampert, W. & Sommer, U. 1997. Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams. Oxford: Oxford University Press.

Linjama, J. 2016. Virtaaman mittaamisesta. Saaristomeren vedenlaadun parantaminen peltojen kipsikäsitteilyllä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/2016/10/26/virtaaman-mittaamisesta/> [viitattu 18.8.2023]

Liukkonen, J. 2022. Mikkelin Urpolanjoen kalatien rakentamiselle vesitalouslupa. Yleisradio Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12361145> [viitattu 10.3.2023]

Maa- ja pohjavesisanasto. 1976. Vesihallitus. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/155229/VH_julkaisu_18.pdf?sequence=4&isAllowed=y [viitattu 10.3.2023]

Merz, J. & Doppman, G. 2006. Measuring Mountain Stream Discharge Using the Salt Dilution Method. University of Bern. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://lib.icimod.org/record/7414/files/attachment_24.pdf [viitattu 21.8.2023]

Mikkelin lentoasema s.a. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fmiodata-convert-api-prod.out.ocp.fmi.fi/preview/805ebffe-abe4-4680-9844-5836c814a480/?locale=fi> [viitattu 9.10.2023]

Mikkelin luonto ja arvokkaat luontokohteet. 2009. Mikkelin kaupungin julkaisuja. Mikkeli: Savilahden kirjapaino.

Mikkelin seudun ympäristölautakunta. 2022. Pöytäkirja. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://mikkeli.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Mikkelin_seudun_ympaumlistoumlautakunta/Kokous_1952022/Pursialan_ ja_Porrassalmen_pohjavesialuei\(51102\)](https://mikkeli.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Mikkelin_seudun_ympaumlistoumlautakunta/Kokous_1952022/Pursialan_ ja_Porrassalmen_pohjavesialuei(51102)) [viitattu 30.8.2023]

Mikkelin Urpolanjoen kalatiet valmistumassa, Rokkalan padot 2023. 2022. ELY-keskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/mikkelin-urpolanjoen-kalatiet-valmistumassa-rokkalan-padot-2023?publishId=69817885&releaseId=69956946> [viitattu 13.3.2023]

Moore, R. 2003. Introduction to Salt Dilution Gauging for streamflow measurement: Part I. Streamline Watershed Management Bulletin, Vol 7/No 4. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://www.yumpu.com/en/document/read/11677984/introduction-to-salt-dilution-gauging-for-streamflow-forrex> [viitattu 5.4.2023]

Moore, R. 2004. Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement Part 2: Constant-rate Injection. Streamline Watershed Management Bulletin Vol. 8/No 1. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=421042e4d7a842b6be48ec746b1453a82fb3ed5e> [viitattu 2.5.2023]

Moore, R. 2005. Slug Injection Using Salt in Solution. Streamline Watershed Management Bulletin, Vol 8. Verkko-lehti. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.uvm.edu/bwrl/lab_docs/protocols/2005_Moore_Slug_salt_dilution_gauging_volumetric_method_Streamline.pdf [viitattu 2.5.2023]

Muuri, T. 2023a. Kalastusbiologi. Sähköpostiviesti 26.4.2023. ELY-keskus.

Muuri, T. 2023b. Kalastusbiologi. Sähköpostikeskustelu 31.7- 8.8.2023. ELY-keskus.

Poutanen, M. 2006. Suomen uusi korkeusjärjestelmä N2000. Maankäyttö.

PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.maankaytto.fi/ar-kisto/mk406/mk406_970_poutanen.pdf [viitattu 4.9.2023]

Purkautumiskäyrä s.a. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.vesi.fi/sanasto/purkautumiskayra/> [viitattu 21.8.2023]

Pursiainen, J., Lajunen, L., Hohtonen, E. & Peltomäki, J. 2014. Kaiken takana onkin vesi, tietokirja vedestä. Saarijärvi: Saarijärven offset.

Rautio, J. 2011. Mikkelin Pursialan pohjavesialueen haitta-aineet. Lappeenrannan Teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa:

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/70871/nbnfi-fe201109132393.pdf?sequence=15&isAllowed=y> [viitattu 21.8.2023]

Saimaa Geopark Finland s.a. Urpolan luontokeskus, rehevä jokimaisema harjuselänteiden kupeessa. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://saimaageopark.fi/wp-content/uploads/2022/08/Urpolan-luontokeskus-opaste.pdf> [viitattu 5.4.2023]

Setlinger, G. 2015. Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement. Fathom Scientific Ltd. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.fathomscientific.com/introduction-to-sd-gauging/> [viitattu 17.8.2023]

Silvennoinen, E. 2020. Purkautumiskäyrän määrittäminen, Hanhilammen Tampinkosken pato. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniologia. Opinnäytetyö.

SFS-EN ISO 748:2021. 2021. Hydrometry. Measurement of liquid flow in open channels. Velocity area methods using point velocity measurements.

SonTek FlowTracker2 Handheld-ADV s.a. SonTek. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.yssi.com/flowtracker2> [viitattu 13.3.2023]

Särkkä, J. 1997. Järvet ja ympäristö, limnologian perusteet. Tampere: Tammer-Paino.

Tikka, J. 2000. Mikkelin seudun ympäristökeskuksen vesistötutkimukset 1998 ja 1999. Mikkeli: Oswald Interkopio.

Urpolan luonnonsuojelun alueen käyttö- ja hoitosuunnitelma 2017–2023. 2018. Mikkelin seudun ympäristöpalvelut. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mikkeli.fi/wp-content/uploads/2018/09/Urpolan-luonnonsuojelun-alueen-k%C3%A4ytt%C3%B6-ja-hoito_ympltk08062017 [viitattu 21.8.2023]

Urpolan Luontokeskus s.a. Visit Mikkeli. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.visitmikkeli.fi/fi/palvelut/urpolan-luontokeskus> [viitattu 13.3.2023]

Urpolanjoen itäinen kivililta s.a. Etelä-Savon kulttuuriperintötietokanta. WWW-dokumentti. Saatavissa:

https://esku.fi/asp/kohde_det.aspx?KOHDE_ID=22596 [viitattu 13.3.2023]

Urpolanjoki on avautunut kalojen vaellukselle. 2022. Mikkelin kaupunki.

WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mikkeli.fi/2022/11/11/urpolanjoki-on-avautunut-kalojen-vaellukselle/> [viitattu 10.3.2023]

Vantti, M. 2012. Olen Urpolasta. Urpola-Seura Ry. Mikkeli: Teroprint.

Vesiensuojelurakenteet ja -ratkaisut s.a. Metsänhoidon suositukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/vesiensuojelurakenteet-ja-ratkaisut/toteutus#section-621> [viitattu 21.8.2023]

Vesihallituksen monistesarja. 1985. Nro 336 pohjapatojen suunnittelu. Vesihallitus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/ser-ver/api/core/bitstreams/3a4da8ec-926b-40c8-827c-6d3e4672a918/content> [viitattu 21.8.2023]

Vesimuodostuman tiedot. 2018. Suomen ympäristökeskus. Hertta-tietokanta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www2.ymparisto.fi/veme/vesimuodostuma.aspx?Vesimuodostumald=12268> [viitattu 21.8.2023]

Vesistöjen puhtautta edistämässä uusin menetelmin – waterplus s.a. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/vesistojen-puhtautta-edistamassa-uusin-menetelmin-waterplus/> [viitattu 18.8.2023]

Virtaaman mittaus s.a. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/wp-content/uploads/2021/11/ohjekortti-virtaaman-mittaus.pdf> [viitattu 10.3.2023]

Wirilander, H. 1982. Mikkelin pitäjän historia. Mikkeli: Länsi-Savo.

Wood, P. & Dykes, A. 2002. The use of salt dilution gauging techniques: ecological considerations and insights. Department of Geography, Loughborough University. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S004313540100519X> [viitattu 5.4.2023]

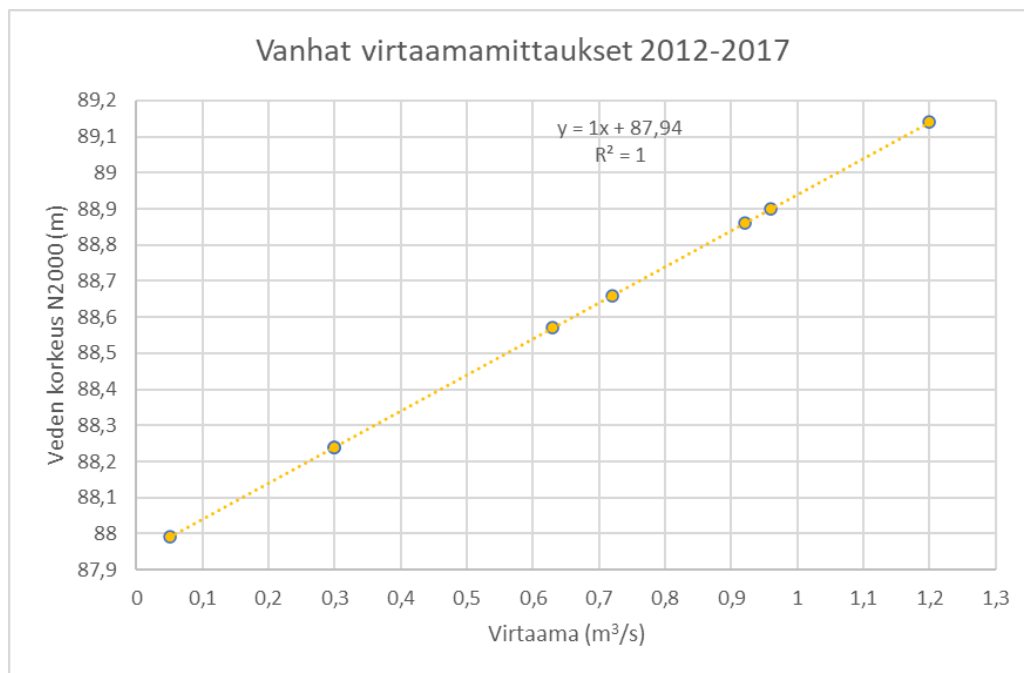
Vesistömallijärjestelmä (WSFS-VEMALA) s.a. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/vesistomallijarjestelma-wsfs-vemala> [viitattu 4.9.2023]

Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä VEMALA. 2023. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Vedenlaadun_ja_ravinnekuormituksen_mallinnus_ja_arviointijarjestelma__VEMALA [viitattu 4.9.2023]

Välimäki, J. 2019. Kuvatulkintaan perustuvat virtaaman mittausmenetelmät. Oulun yliopisto. Maantieteen tutkimusyksikkö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202001171026.pdf> [viitattu 22.9.2023]

Vanha mittaukset ja purkautumiskäyrä (vuosilta 2012–2017)

Vuoden 2012 mittaukset ovat suorittaneet ELY-keskuksen toimesta Matti Tisari ja Markku Mäkeläinen.



Kuva 24. Vanha purkautumiskäyrä, joka muodostettu vuosien 2012–2017 mittauksista

Taulukko 5. Vanhat vedenkorkeus- ja virtaamatiedot Urpolanjoesta

pvm.	vuosi	mitattu virtaama m³/s	veden korkeus (cm)
4.touko	2012	1,2039	75
23.touko	2012	0,9185	71
14.elo	2012	0,3020	62
18.loka	2012	0,7245	68
13.marras	2012	0,9556	73
17.loka	2016	0,0540	59
8.touko	2017	0,6299	68
16.elo	2017	0,2919	63

Kevään ja kesän 2023 virtaama ja vedenkorkeusmittaukset

Taulukko 6. Vedenkorkeus- ja virtaamatulokset 2023

Urpolanjoen virtaamat kevät/kesä 2023					
pvm.	korkeus (m)	N60 korkeus (m) (0,0 m koro 87,69 m korkeudella)	N2000 korkeus (m)	Flow Tracker 2:n virtaama (m ³ /s)	Suolapulssin virtaama (m ³ /s)
22.3.2023	0,66	88,35	88,60	0,30	0,23
6.4.2023	0,685	88,375	88,625	0,50	0,59
10.4.2023	0,69	88,38	88,63		
12.4.2023	0,70	88,39	88,64	0,56	0,64
13.4.2023	0,705	88,395	88,645	0,60*	
19.4.2023	0,72	88,41	88,66		
20.4.2023	0,73	88,42	88,67	0,77	0,71
24.4.2023	0,74	88,43	88,68		
25.4.2023	0,75	88,44	88,69		
26.4.2023	0,755	88,445	88,695	0,95	
28.4.2023	0,765	88,455	88,705	1,03	
29.4.2023	0,76	88,45	88,70		
4.5.2023	0,77	88,45	88,71	1,12	
1.5.2023	0,75	88,44	88,69		
14.5.2023	0,745	88,435	88,685		
17.5.2023	0,74	88,43	88,68	0,80*	
23.5.2023	0,70	88,39	88,64		
26.5.2023	0,70	88,39	88,64	0,55	
27.5.2023	0,69	88,38	88,63		
5.6.2023	0,665	88,355	88,605	0,37	
6.6.2023	0,655	88,345	88,595		
20.6.2023	0,62	88,31	88,56		
27.6.2023	0,595	88,285	88,535		
3.7.2023	0,62	88,22	88,56		
11.7.2023	0,60	88,20	88,45		
19.7.2023	0,59	88,19	88,40	0,16	

*= mittaus tehtiin kahdesta eri paikasta Urpolanjokea

punaisella merkattu korkeimmat tulokset

N60 korko mittapaalun 0,0 m korkeudella (m) = 87,69

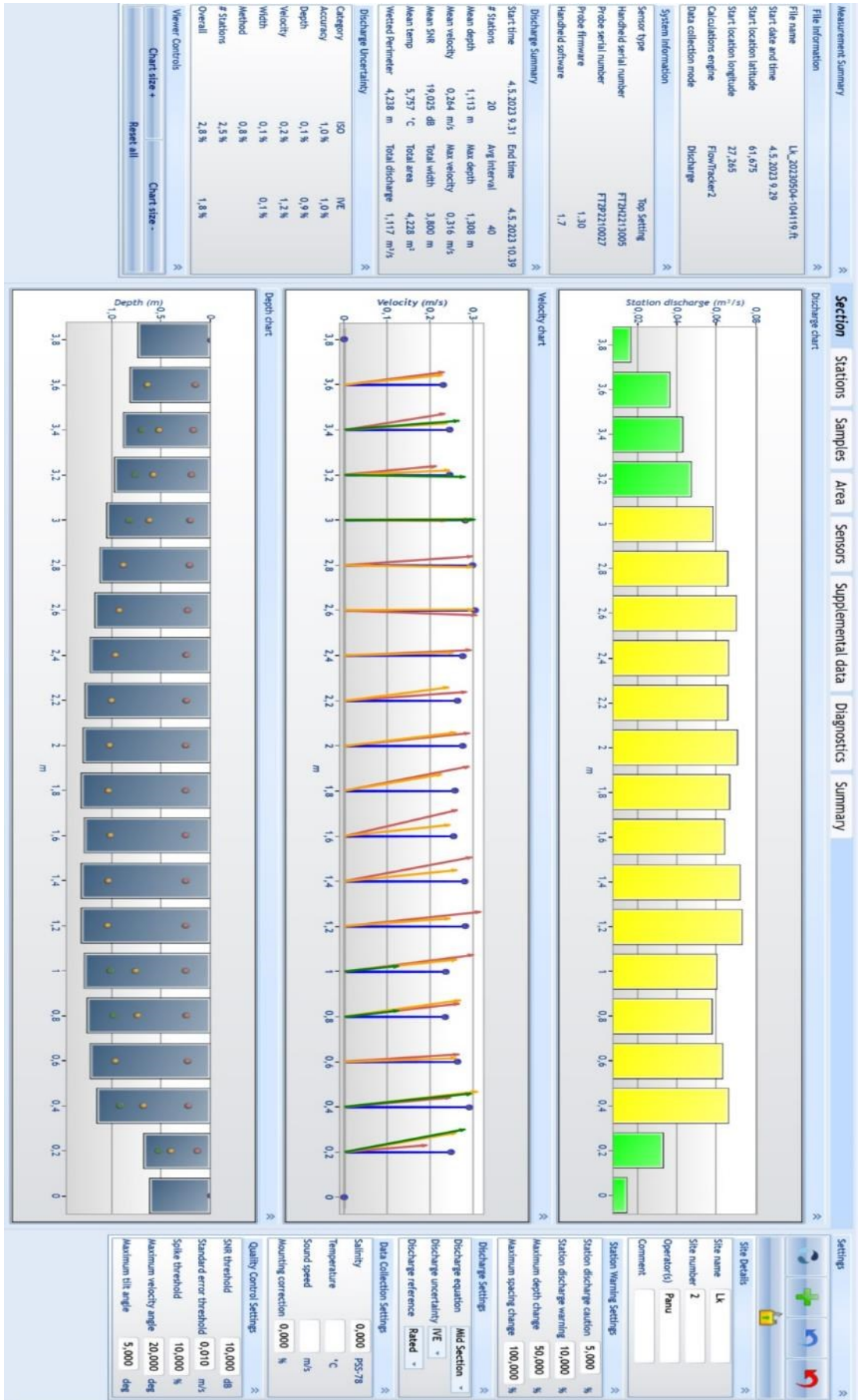
N2000 korkeusjärjestelmän ero N60 (m)= 0,25

ELY-keskuksen virtaamamittaukset keväällä/kesällä 2023 OTT MF Pro-mittarilla

Mittaajana toiminut ELY-keskuksen vesitaloussuunnittelija Santeri Hämäläinen ja mittauspaikkana on ollut Urpolanjoessa Luontokeskuksen takana sijaitseva kevyenliikenteenväylän sillan alajuoksun puoli.

Taulukko 7. ELY-keskuksen virtaamamittaukset OTT MF Pro-mittarilla

pvm.	vedenkorkeus N2000 (m)	virtaama (m ³ /s)
21.4.2023	88,704	0,641
25.4.2023	88,705	0,764
28.4.2023	88,72	0,953
12.5.2023	88,71	0,851
19.5.2023	88,67	0,609
23.5.2023	88,65	0,541
25.5.2023	88,64	0,505
30.5.2023	88,62	0,347
1.6.2023	88,61	0,359
5.6.2023	88,61	0,333
8.6.2023	88,60	0,273
12.6.2023	88,59	0,237
15.6.2023	88,59	0,225
20.6.2023	88,57	0,175
22.6.2023	88,57	0,189
26.6.2023	88,55	0,134
4.7.2023	88,55	0,137
6.7.2023	88,55	0,131
12.7.2023	88,55	0,153
2.8.2023	88,52	0,137
9.8.2023	88,60	0,161
15.8.2023	88,54	0,124
23.8.2023	88,52	0,093



Kuva 25. Flow Tracker 2 virtaamamittauskerran antamaa dataa (4.5.2023)

Taulukko 8. Säähavainnot keväältä 2023. Havaintopisteenä Mikkelin lentoasema (Mikkelin lentoasema s.a.).

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Aikavyöh	Sademäärä (mm)	Lumensyvyys (cm)	Ilman lämpötila (degC)
2023	3	22	00:00	UTC	8,6	45	-0,9
2023	3	23	00:00	UTC	0,1	43	3,2
2023	3	24	00:00	UTC	8,9	39	1,5
2023	3	25	00:00	UTC	1,5	35	0,2
2023	3	26	00:00	UTC	-1	34	-3
2023	3	27	00:00	UTC	6,9	34	-3,9
2023	3	28	00:00	UTC	5,6	42	-4,3
2023	3	29	00:00	UTC	-1	46	-6,1
2023	3	30	00:00	UTC	-1	44	-8,6
2023	3	31	00:00	UTC	-1	43	-8,6
2023	4	1	00:00	UTC	-1	43	-4,9
2023	4	2	00:00	UTC	-1	42	-2,6
2023	4	3	00:00	UTC	-1	41	-2,7
2023	4	4	00:00	UTC	-1	41	-2,2
2023	4	5	00:00	UTC	-1	40	1
2023	4	6	00:00	UTC	-1	37	2,4
2023	4	7	00:00	UTC	-1	35	1,9
2023	4	8	00:00	UTC	-1	32	1,4
2023	4	9	00:00	UTC	-1	31	2,9
2023	4	10	00:00	UTC	-1	28	3
2023	4	11	00:00	UTC	-1	25	4,6
2023	4	12	00:00	UTC	-1	23	6,8
2023	4	13	00:00	UTC	-1	19	2,6
2023	4	14	00:00	UTC	-1	17	1,9
2023	4	15	00:00	UTC	-1	15	2,2
2023	4	16	00:00	UTC	-1	12	2,6
2023	4	17	00:00	UTC	-1	9	3,7
2023	4	18	00:00	UTC	-1	5	5,9
2023	4	19	00:00	UTC	-1	-1	5,4
2023	4	20	00:00	UTC	-1	-1	8,9
2023	4	21	00:00	UTC	-1	-1	7,6
2023	4	22	00:00	UTC	-1	-1	7,9
2023	4	23	00:00	UTC	-1	-1	7,2
2023	4	24	00:00	UTC	0,9	-1	10
2023	4	25	00:00	UTC	-1	-1	9,2
2023	4	26	00:00	UTC	0,1	-1	11,6
2023	4	27	00:00	UTC	11,4	-1	4,7
2023	4	28	00:00	UTC	-1	-1	4,2
2023	4	29	00:00	UTC	3	-1	4,2
2023	4	30	00:00	UTC	2,4	-1	4,6
2023	5	1	00:00	UTC	6,3	-1	5,5
2023	5	2	00:00	UTC	14,5	-1	4,2
2023	5	3	00:00	UTC	2,5	-1	5
2023	5	4	00:00	UTC	2,7	-1	0,2
2023	5	5	00:00	UTC	-1	-1	1,2
2023	5	6	00:00	UTC	-1	-1	3,4
2023	5	7	00:00	UTC	-1	-1	7,4
2023	5	8	00:00	UTC	-1	-1	9,3
2023	5	9	00:00	UTC	-1	-1	11,6
2023	5	10	00:00	UTC	-1	-1	12,1
2023	5	11	00:00	UTC	-1	-1	13,8
2023	5	12	00:00	UTC	-1	-1	14,7
2023	5	13	00:00	UTC	-1	-1	15
2023	5	14	00:00	UTC	-1	-1	15,7
2023	5	15	00:00	UTC	-1	-1	15,1
2023	5	16	00:00	UTC	2,9	-1	14
2023	5	17	00:00	UTC	0,1	-1	11,9
2023	5	18	00:00	UTC	0,2	-1	7,8
2023	5	19	00:00	UTC	-1	-1	9,9
2023	5	20	00:00	UTC	-1	-1	13,7
2023	5	21	00:00	UTC	-1	-1	14,9
2023	5	22	00:00	UTC	-1	-1	16,7
2023	5	23	00:00	UTC	0,4	-1	14
2023	5	24	00:00	UTC	-1	-1	17,1
2023	5	25	00:00	UTC	0,2	-1	13
2023	5	26	00:00	UTC	1,8	-1	7,6
2023	5	27	00:00	UTC	-1	-1	8,6
2023	5	28	00:00	UTC	-1	-1	10,9
2023	5	29	00:00	UTC	-1	-1	11,1
2023	5	30	00:00	UTC	-1	-1	9,6
2023	5	31	00:00	UTC	0,7	-1	10,2

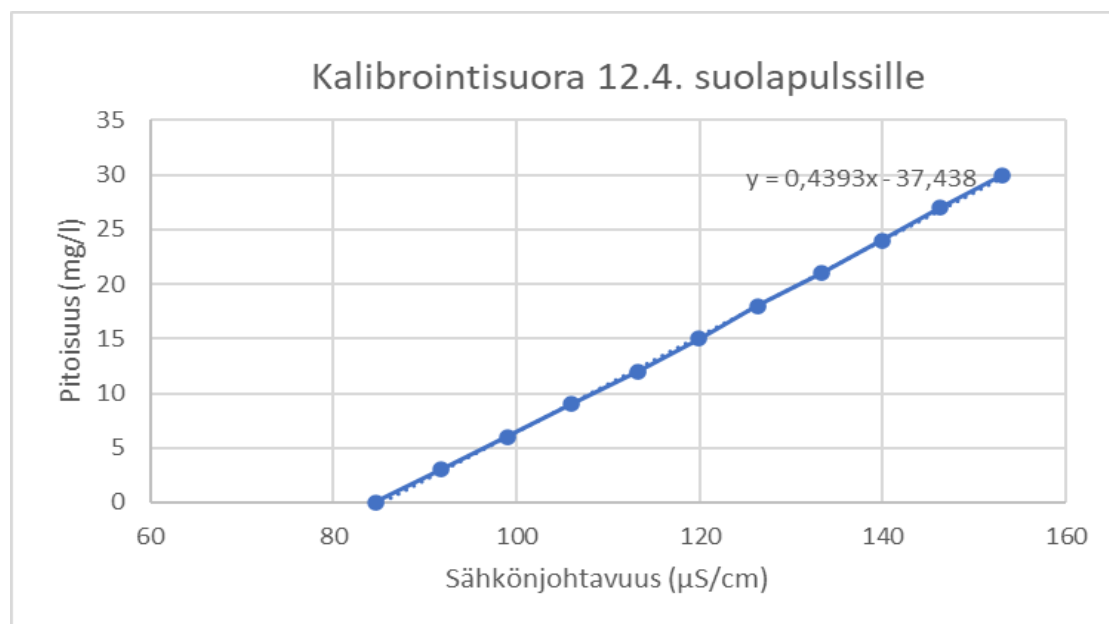
Taulukko 9. Yhden suolapullsimittauksen sähköjohtavuusdataa (12.4.2023)

Suolapullsimittauksen sähköjohtavuudet uomasta 12.4.2023														
Uومان sähköjohtavuuden perustaso (µS/cm)= 84														
TIME	Sp Cond (µS/cm)	erotus perustasosta	DATE	TIME	Sp Cond (µS/cm)	erotus perustasosta	DATE	TIME	Sp Cond (µS/cm)	erotus perustasosta	DATE	TIME	Sp Cond (µS/cm)	erotus perustasosta
2:28:58 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:36 PM	104	20	4/12/2023	2:32:14 PM	92,1	8,1	4/12/2023	2:33:52 PM	84,7	0,7
2:28:59 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:37 PM	105,8	21,8	4/12/2023	2:32:15 PM	91,9	7,9	4/12/2023	2:33:53 PM	84,6	0,6
2:29:00 PM	84	0	4/12/2023	2:30:38 PM	107,9	23,9	4/12/2023	2:32:16 PM	91,7	7,7	4/12/2023	2:33:54 PM	84,6	0,6
2:29:01 PM	84	0	4/12/2023	2:30:39 PM	109,8	25,8	4/12/2023	2:32:17 PM	91,4	7,4	4/12/2023	2:33:55 PM	84,6	0,6
2:29:02 PM	84	0	4/12/2023	2:30:40 PM	111,9	27,9	4/12/2023	2:32:18 PM	91,2	7,2	4/12/2023	2:33:56 PM	84,6	0,6
2:29:03 PM	84	0	4/12/2023	2:30:41 PM	113,8	29,8	4/12/2023	2:32:19 PM	91	7	4/12/2023	2:33:57 PM	84,6	0,6
2:29:04 PM	84	0	4/12/2023	2:30:42 PM	115,9	31,9	4/12/2023	2:32:20 PM	90,8	6,8	4/12/2023	2:33:58 PM	84,5	0,5
2:29:05 PM	84	0	4/12/2023	2:30:43 PM	118	34	4/12/2023	2:32:21 PM	90,6	6,6	4/12/2023	2:33:59 PM	84,5	0,5
2:29:06 PM	84	0	4/12/2023	2:30:44 PM	119,9	35,9	4/12/2023	2:32:22 PM	90,4	6,4	4/12/2023	2:34:00 PM	84,5	0,5
2:29:07 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:45 PM	121,8	37,8	4/12/2023	2:32:23 PM	90,2	6,2	4/12/2023	2:34:01 PM	84,5	0,5
2:29:08 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:46 PM	123,5	39,5	4/12/2023	2:32:24 PM	90	6	4/12/2023	2:34:02 PM	84,5	0,5
2:29:09 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:47 PM	125,2	41,2	4/12/2023	2:32:25 PM	89,8	5,8	4/12/2023	2:34:03 PM	84,5	0,5
2:29:10 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:48 PM	126,8	42,8	4/12/2023	2:32:26 PM	89,7	5,7	4/12/2023	2:34:04 PM	84,5	0,5
2:29:11 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:49 PM	128,5	44,5	4/12/2023	2:32:27 PM	89,6	5,6	4/12/2023	2:34:05 PM	84,4	0,4
2:29:12 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:50 PM	129,9	45,9	4/12/2023	2:32:28 PM	89,4	5,4	4/12/2023	2:34:06 PM	84,4	0,4
2:29:13 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:51 PM	131,3	47,3	4/12/2023	2:32:29 PM	89,2	5,2	4/12/2023	2:34:07 PM	84,4	0,4
2:29:14 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:52 PM	132,4	48,4	4/12/2023	2:32:30 PM	89,1	5,1	4/12/2023	2:34:08 PM	84,4	0,4
2:29:15 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:53 PM	133,6	49,6	4/12/2023	2:32:31 PM	89	5	4/12/2023	2:34:09 PM	84,4	0,4
2:29:16 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:54 PM	134,5	50,5	4/12/2023	2:32:32 PM	88,8	4,8	4/12/2023	2:34:10 PM	84,4	0,4
2:29:17 PM	83,9	-0,1	4/12/2023	2:30:55 PM	135,3	51,3	4/12/2023	2:32:33 PM	88,7	4,7	4/12/2023	2:34:11 PM	84,4	0,4
2:29:18 PM	84	0	4/12/2023	2:30:56 PM	136	52	4/12/2023	2:32:34 PM	88,6	4,6	4/12/2023	2:34:12 PM	84,4	0,4
2:29:19 PM	84	0	4/12/2023	2:30:57 PM	136,7	52,7	4/12/2023	2:32:35 PM	88,4	4,4	4/12/2023	2:34:13 PM	84,4	0,4
2:29:20 PM	84	0	4/12/2023	2:30:58 PM	137,3	53,3	4/12/2023	2:32:36 PM	88,3	4,3	4/12/2023	2:34:14 PM	84,4	0,4
2:29:21 PM	84	0	4/12/2023	2:30:59 PM	137,7	53,7	4/12/2023	2:32:37 PM	88,2	4,2	4/12/2023	2:34:15 PM	84,4	0,4
2:29:22 PM	84	0	4/12/2023	2:31:00 PM	138	54	4/12/2023	2:32:38 PM	88,1	4,1	4/12/2023	2:34:16 PM	84,4	0,4
2:29:23 PM	84	0	4/12/2023	2:31:01 PM	138	54	4/12/2023	2:32:39 PM	87,9	3,9	4/12/2023	2:34:17 PM	84,4	0,4
2:29:24 PM	84	0	4/12/2023	2:31:02 PM	138	54	4/12/2023	2:32:40 PM	87,7	3,7	4/12/2023	2:34:18 PM	84,4	0,4
2:29:25 PM	84	0	4/12/2023	2:31:03 PM	137,9	53,9	4/12/2023	2:32:41 PM	87,6	3,6	4/12/2023	2:34:19 PM	84,3	0,3
2:29:26 PM	84	0	4/12/2023	2:31:04 PM	137,6	53,6	4/12/2023	2:32:42 PM	87,5	3,5	4/12/2023	2:34:20 PM	84,3	0,3
2:29:27 PM	84	0	4/12/2023	2:31:05 PM	137,3	53,3	4/12/2023	2:32:43 PM	87,4	3,4	4/12/2023	2:34:21 PM	84,3	0,3
2:29:28 PM	84	0	4/12/2023	2:31:06 PM	137	53	4/12/2023	2:32:44 PM	87,3	3,3	4/12/2023	2:34:22 PM	84,3	0,3
2:29:29 PM	84	0	4/12/2023	2:31:07 PM	136,5	52,5	4/12/2023	2:32:45 PM	87,2	3,2	4/12/2023	2:34:23 PM	84,3	0,3
2:29:30 PM	84	0	4/12/2023	2:31:08 PM	135,9	51,9	4/12/2023	2:32:46 PM	87,1	3,1	4/12/2023	2:34:24 PM	84,3	0,3
2:29:31 PM	84	0	4/12/2023	2:31:09 PM	135,3	51,3	4/12/2023	2:32:47 PM	87	3	4/12/2023	2:34:25 PM	84,3	0,3
2:29:32 PM	84	0	4/12/2023	2:31:10 PM	134,6	50,6	4/12/2023	2:32:48 PM	87	3	4/12/2023	2:34:26 PM	84,3	0,3
2:29:33 PM	84	0	4/12/2023	2:31:11 PM	133,9	49,9	4/12/2023	2:32:49 PM	86,9	2,9	4/12/2023	2:34:27 PM	84,3	0,3
2:29:34 PM	84	0	4/12/2023	2:31:12 PM	133	49	4/12/2023	2:32:50 PM	86,8	2,8	4/12/2023	2:34:28 PM	84,3	0,3
2:29:35 PM	84	0	4/12/2023	2:31:13 PM	132,1	48,1	4/12/2023	2:32:51 PM	86,7	2,7	4/12/2023	2:34:29 PM	84,2	0,2
2:29:36 PM	84	0	4/12/2023	2:31:14 PM	131,4	47,4	4/12/2023	2:32:52 PM	86,7	2,7	4/12/2023	2:34:30 PM	84,2	0,2
2:29:37 PM	84	0	4/12/2023	2:31:15 PM	130,4	46,4	4/12/2023	2:32:53 PM	86,7	2,7	4/12/2023	2:34:31 PM	84,2	0,2
2:29:38 PM	84	0	4/12/2023	2:31:16 PM	129,6	45,6	4/12/2023	2:32:54 PM	86,6	2,6	4/12/2023	2:34:32 PM	84,2	0,2
2:29:39 PM	84	0	4/12/2023	2:31:17 PM	128,6	44,6	4/12/2023	2:32:55 PM	86,5	2,5	4/12/2023	2:34:33 PM	84,2	0,2
2:29:40 PM	84	0	4/12/2023	2:31:18 PM	127,7	43,7	4/12/2023	2:32:56 PM	86,5	2,5	4/12/2023	2:34:34 PM	84,2	0,2
2:29:41 PM	84	0	4/12/2023	2:31:19 PM	126,7	42,7	4/12/2023	2:32:57 PM	86,4	2,4	4/12/2023	2:34:35 PM	84,2	0,2
2:29:42 PM	84	0	4/12/2023	2:31:20 PM	125,8	41,8	4/12/2023	2:32:58 PM	86,3	2,3	4/12/2023	2:34:36 PM	84,2	0,2
2:29:43 PM	84	0	4/12/2023	2:31:21 PM	124,7	40,7	4/12/2023	2:32:59 PM	86,3	2,3	4/12/2023	2:34:37 PM	84,2	0,2
2:29:44 PM	84	0	4/12/2023	2:31:22 PM	123,8	39,8	4/12/2023	2:33:00 PM	86,2	2,2	4/12/2023	2:34:38 PM	84,2	0,2
2:29:45 PM	84	0	4/12/2023	2:31:23 PM	122,7	38,7	4/12/2023	2:33:01 PM	86,2	2,2	4/12/2023	2:34:39 PM	84,2	0,2
2:29:46 PM	84	0	4/12/2023	2:31:24 PM	121,8	37,8	4/12/2023	2:33:02 PM	86,1	2,1	4/12/2023	2:34:40 PM	84,2	0,2
2:29:47 PM	84	0	4/12/2023	2:31:25 PM	120,8	36,8	4/12/2023	2:33:03 PM	86,1	2,1	4/12/2023	2:34:41 PM	84,2	0,2
2:29:48 PM	84	0	4/12/2023	2:31:26 PM	119,9	35,9	4/12/2023	2:33:04 PM	86	2	4/12/2023	2:34:42 PM	84,2	0,2
2:29:49 PM	84	0	4/12/2023	2:31:27 PM	118,8	34,8	4/12/2023	2:33:05 PM	85,9	1,9	4/12/2023	2:34:43 PM	84,2	0,2
2:29:50 PM	84	0	4/12/2023	2:31:28 PM	117,7	33,7	4/12/2023	2:33:06 PM	85,9	1,9	4/12/2023	2:34:44 PM	84,2	0,2
2:29:51 PM	84	0	4/12/2023	2:31:29 PM	116,8	32,8	4/12/2023	2:33:07 PM	85,8	1,8	4/12/2023	2:34:45 PM	84,2	0,2
2:29:52 PM	84	0	4/12/2023	2:31:30 PM	115,7	31,7	4/12/2023	2:33:08 PM	85,8	1,8	4/12/2023	2:34:46 PM	84,2	0,2
2:29:53 PM	84	0	4/12/2023	2:31:31 PM	114,8	30,8	4/12/2023	2:33:09 PM	85,8	1,8	4/12/2023	2:34:47 PM	84,3	0,3
2:29:54 PM	84	0	4/12/2023	2:31:32 PM	113,9	29,9	4/12/2023	2:33:10 PM	85,7	1,7	4/12/2023	2:34:48 PM	84,3	0,3
2:29:55 PM	84	0	4/12/2023	2:31:33 PM	113	29	4/12/2023	2:33:11 PM	85,7	1,7	4/12/2023	2:34:49 PM	84,3	0,3
2:29:56 PM	84	0	4/12/2023	2:31:34 PM	112,1	28,1	4/12/2023	2:33:12 PM	85,6	1,6	4/12/2023	2:34:50 PM	84,3	0,3
2:29:57 PM	84	0	4/12/2023	2:31:35 PM	111,4	27,4	4/12/2023	2:33:13 PM	85,6	1,6	4/12/2023	2:34:51 PM	84,3	0,3
2:29:58 PM	84	0	4/12/2023	2:31:36 PM	110,5	26,5	4/12/2023	2:33:14 PM	85,6	1,6	4/12/2023	2:34:52 PM	84,3	0,3
2:29:59 PM	84	0	4/12/2023	2:31:37 PM	109,8	25,8	4/12/2023	2:33:15 PM	85,5	1,5	4/12/2023	2:34:53 PM	84,3	0,3
2:30:00 PM	84	0	4/12/2023	2:31:38 PM	109	25	4/12/2023	2:33:16 PM	85,5	1,5	4/12/2023	2:34:54 PM	84,3	0,3
2:30:01 PM	84	0	4/12/2023	2:31:39 PM	108,2	24,2	4/12/2023	2:33:17 PM	85,5	1,5	4/12/2023	2:34:55 PM	84,3	0,3
2:30:02 PM	84	0	4/12/2023	2:31:40 PM	107,5	23,5	4/12/2023	2:33:18 PM	85,4	1,4	4/12/2023	2:34:56 PM	84,3	0,3
2:30:03 PM	84	0	4/12/2023	2:31:41 PM	106,8	22,8	4/12/2023	2:33:19 PM	85,4	1,4	4/12/2023	2:34:57 PM	84,3	0,3
2:30:04 PM	84	0	4/12/2023	2:31:42 PM	106,1	22,1	4/12/2023	2:33:20 PM	85,4	1,4	4/12/2023	2:34:58 PM	84,3	0,3
2:30:05 PM	84	0	4/12/2023	2:31:43 PM	105,4	21,4	4/12/2023	2:33:21 PM	85,3	1,3	4/12/2023	2:34:59 PM	84,3	0,3
2:30:06 PM	84	0	4/12/2023	2:31:44 PM	104,8	20,8	4/12/2023	2:33:22 PM	85,3	1,3	4/12/2023	2:35:00 PM	84,3	0,3
2:30:07 PM	84	0	4/12/2023	2:31:45 PM	104,1	20,1	4/12/2023	2:33:23 PM	85,3	1,3	4/12/2023	2:35:01 PM	84,3	0,3
2:30:08 PM	84	0	4/12/2023	2:31:46 PM	103,5	19,5	4/12/2023	2:33:24 PM	85,2	1,2	4/12/2023	2:35:02 PM	84,2	0,2
2:30:09 PM	84	0	4/12/2023	2:31:47 PM	102,9	18,9	4/12/2023	2:33:25 PM	85,2	1,2	4/12/2023	2:35:03 PM	84,2	0,2
2:30:10 PM	84,1	0,1	4/12/2023	2:31:48 PM	102,3	18,3	4/12/2							

Suolapulssimenetelmän kalibrintisuora (12.4.2023)

Taulukko 10. Kalibrintisuoran muodostumiseen käytetyt tiedot

12.4.2023 kalibrintisuoran tiedot sekä kuvaaja			
kokonais tilavuus (ml)	suolanliuoksen lisäys (ml)	Sähkönjohtavuus ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pitoisuus (mg/l)
1000	0	84,6	0
1001	1	91,7	3
1002	2	99	6
1003	3	105,9	9
1004	4	113,3	12
1005	5	119,9	15
1006	6	126,3	18
1007	7	133,3	21
1008	8	139,9	24
1009	9	146,2	27
10010	10	153,1	30



Kuva 26. Muodostettu kalibrintisuora 12.4.2023 tehdyille suolapulssille

Kalibrintikerroin (k) = 0,4393

Suolapulssimenetelmälle tehdyt laskut (mittauskerta 12.4.2023)

Kaava virtaaman laskemiselle

$$Q = \frac{M}{(k\Delta t \Sigma [EC(t) - EC_{bg}])}$$

Q = virtaus m³/s

M = Uomaan lisätyn suolan määrä (g) = 1 000 g

k = kalibroitinkerroin, joka saatiin kalibroitisuoran kautta = 0,4393

Δt = mittauksessa käytetty mittausväli (intervalliaika) (s) = 1 s

EC(t)-EC_{bg} (μS/cm) = jokaisen sähkönjohtavuus mittaukset erotus perustasta summattuna yhteen = 3544 μS/cm

sijoitetaan lukemat kaavaa:

$$Q = \frac{1000 \text{ g}}{(0,4393 * 1 \text{ s} * 3544 \mu\text{S/cm})}$$

$$Q = 0,642310592 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Taulukko 11. Vemalan virtaamaennusteet Urpolanjoelle

Urpolan lähtövirtaama Vemalan mallintamana ja ennustamana. Haettu Vemalasta 25.4.2023 Mikkelin ympäristöpalvelujen ympäristötarkastaja Juha Raution toimesta.			
pvm.	Ennustettu virtaama (m ³ /s)	pvm.	Ennustettu virtaama (m ³ /s)
1.4.2023	0,084685	1.5.2023	1,657367
2.4.2023	0,086214	2.5.2023	1,520522
3.4.2023	0,08397	3.5.2023	1,55266
4.4.2023	0,084714	4.5.2023	1,324277
5.4.2023	0,080902	5.5.2023	1,24127
6.4.2023	0,080708	6.5.2023	1,205632
7.4.2023	0,077713	7.5.2023	1,117934
8.4.2023	0,077255	8.5.2023	1,003102
9.4.2023	0,075341	9.5.2023	0,926804
10.4.2023	0,076137	10.5.2023	0,851606
11.4.2023	0,090158	11.5.2023	0,793306
12.4.2023	0,226634	12.5.2023	0,737234
13.4.2023	0,392101	13.5.2023	0,702302
14.4.2023	0,359814	14.5.2023	0,642852
15.4.2023	0,485086	15.5.2023	0,622399
16.4.2023	0,409122	16.5.2023	0,58855
17.4.2023	0,456996	17.5.2023	0,557116
18.4.2023	0,647789	18.5.2023	0,55542
19.4.2023	0,737813	19.5.2023	0,518429
20.4.2023	0,759508	20.5.2023	0,505175
21.4.2023	0,782466	21.5.2023	0,493754
22.4.2023	0,958548	22.5.2023	0,471074
23.4.2023	1,27361	23.5.2023	0,486665
24.4.2023	1,639689	24.5.2023	0,510357
25.4.2023	1,661064	25.5.2023	0,479122
26.4.2023	1,80598	26.5.2023	0,463641
27.4.2023	1,738702	27.5.2023	0,461164
28.4.2023	1,635572	28.5.2023	0,413021
29.4.2023	1,672398	29.5.2023	0,408308
30.4.2023	1,54613	30.5.2023	0,361994
		31.5.2023	0,440117

Ennusteen korkein arvo on korostettu (1,80598 m³/s)

Kiintopisteen 313 tiedot**Kiintopiste**

Kiintopisteen numero:	80118P
Kiintopisteen nimi:	KP 313
Kunta:	Mikkeli

ETRS89-koordinaatit

Pisteen mitannut organisaatio:	Ei mitattu
N (ETRS-TM35FIN):	6838101.0
E (ETRS-TM35FIN):	514144.9
Lat (ETRS89):	61.675864 (61°40'33.11040")
Lon (ETRS89):	27.267224 (27°16'2.00640")

KKJ-koordinaatit

Pisteen mitannut organisaatio:	Ei mitattu
--------------------------------	------------

N60-korkeus

Pisteen mitannut organisaatio:	Maanmittauslaitos
Viitenumero:	HT127.
Korkeustarkkuusluokka:	1b. luokka
H:	94.304

N2000-korkeus

Pisteen mitannut organisaatio:	Maanmittauslaitos
Viitenumero:	09201
Korkeustarkkuusluokka:	2. luokka
H:	94.556

Korkeusjärjestelmien ero: 94,304 m (N60) – 94,556 m (N2000)
 = 0,252 m ~ 0,25 m