

Salla Thil

ROKKALANJOEN KAUTTA TULEVA
RAVINNEKUORMITUS
SAVILAHDELLE
Mikkeli

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Marraskuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 11.11.2016
Tekijä(t) Salla Thil	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Rokkalanjoen kautta tuleva ravinnekuormitus Savilahdelle, Mikkeli	
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Mikkeliissä sijaitsevaan Savilahden satamalahden laskevan Rokkalanjoen tuomaa ravinnekuormitusta. Kuormituksen selvittämiseksi 7-nimisellä jokireitillä, Hanhilammen ja satamalahden välisellä osuudella, suoritettiin virtaamamittauksia neljästä eri mittauspisteestä. Näistä neljästä mittauspisteestä, sekä kahdesta näytepisteestä satamalahden lasku-uomien suulla, otettiin vesinäytteet veden laadun arvioimiseksi. Vedestä analysoitiin pH-arvo, sähkönjohtavuus, sameus, kemiallinen hapenkulutus, liukoinen ja kokonaisfosfori, sekä liukoinen ja kokonaistyyppi. Työssä tarkasteltiin lisäksi jokireitin valuma-alueita ja sen maankäytön jakaantumista. Saatujen virtaamatulosten ja vedenlaatuanalyysien tulosten perusteella laskettiin fosforin ainevirtaama. Lisäksi ravinnekuormitusta arvioitiin VEMALANIMISEN työkalun avulla. Tulosten perusteella Hanhilammen ja Savilahden välisen jokiosuuden vedenlaatu vastasi hyvin tyypillistä Suomen vesistöjen laatua. Rehevöitymistä aiheuttavien ravinteiden, fosforin ja typen, pitoisuudet olivat hyvin pieniä, johtuen osittain tutkimuksen suoritusajankohdasta kasvukauden lopulla. Ravinnekuormitus Rokkalanjoelta Savilahdelle vaihtelee vuodenaajan mukaan, ja sekä fosfori-, että typpikuormitus oli mittausajankohtana matalalla. Opinnäytetyön tilaajana oli Mikkelin ammattikorkeakoulun Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke eli VIM-hanke. Hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä ja vähentää ympäristöpäästöjä Etelä-Savossa, ja sen aikana Mikkelin seudun vesistöistä tuotetaan ja mallinnetaan ympäristömittaustietoa selvittämällä esimerkiksi luonnonvesien koostumusta, ja niistä löydettyjen haitta-ainepitoisuuksien aiheuttamia ympäristövaikutuksia.	
Asiasanat (avainsanat) virtaama, vedenlaatu, kuormitus, rehevöityminen, typpipitoisuus, fosforipitoisuus	
Sivumäärä 42+1	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Hannu Poutiainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Niina Laurila Projektipäällikkö/VIM-hanke Mikkelin ammattikorkeakoulu Oy

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 11.11.2016
Author(s) Salla Thil	Degree programme and option Environmental Engineering
Name of the bachelor's thesis Nutrient loading from river Rokkalanjoki to harbour Savilahti, Mikkeli.	
Abstract The subject of this thesis was to research the amount of nutrient loading from river Rokkalanjoki to Savilahti, Mikkeli. To measure the nutrient load to Savilahti there were done four flow-measurements from the river Hanhijoki-Rokkalanjoki. From these four samplepoints and two samplepoints at harbour bay, were taken watersamples for analysing the quality of water. From the water was analysed acidness, conductivity, turbidity, chemical oxygen demand, and the percentages of soluble and whole phosphorus and soluble and whole nitrogen. The thesis included also a viewing about area's drainage basin and land use. The phosphorus loading was calculated based on the results of river flows and water quality. The results of water quality analyses showed the water of the river equated well typical finnish natural waters quality. The amount of nutrients causing eutrophication was very slight, partly because the measurements were done at the end of the growing season. Nutrient loading from river Rokkalanjoki to Savilahti variates with seasons from spring's high loading to autumn's low loading. The employer of the thesis was a project "Monitoring water and air to protect environment of the southern Savo" on Mikkeli university of applied sciences. Project's main object is to prevent and decrease environmental emissions in southern Savo by producing environmental data via measurements and modeling. The project is for example researching the quality of natural waters and the effects to it caused by human acts.	
Subject headings, (keywords) flow, water quality, nutrient loading, eutrophication, nitrogen percentage, phosphorus percentage	
Pages 42+1	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Hannu Poutiainen	Bachelor's thesis assigned by Niina Laurila Project manager/VIM-project Mikkeli University of Applied Sciences

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	VESISTÖKUORMITUS.....	2
2.1	Valuma-alue.....	3
2.2	Kuormituslähteet.....	3
2.3	Jokien virtaama	4
2.4	Ravinnekuormitustutkimuksia.....	5
2.4.1	Mikkelin alapuolisen Saimaan ravinnekuormitus.....	5
2.4.2	Vesijärven ravinnekuormitus	6
3	VEDENLAATUPARAMETRIT	8
3.1	pH-arvo	8
3.2	Sähkönjohtokyky	9
3.3	Sameus	9
3.4	Kemiallinen hapenkulutus	9
3.5	Liukoinen ja kokonaisfosfori.....	10
3.6	Liukoinen ja kokonaistyyppi	10
4	TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	11
4.1.1	Valuma-alueet	12
4.1.2	Hanhilammen alapuolinen mittauspiste.....	14
4.1.3	Tampinjoen alapuolinen mittauspiste	15
4.1.4	Sirkkapuron alapuolinen mittauspiste.....	17
4.1.5	Emolan mittauspiste.....	18
4.1.6	Sataman näytepiste.....	19
4.1.7	Saksalan näytepiste	21
4.2	Virtaamamittaus Flowtracker-mittarilla	23
4.3	Vedenlaatuanalyysien ja ravinnekuorman määritykset	24
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	25
5.1	Virtaama	26
5.2	Lämpötila, pH, sähkönjohtokyky ja sameus.....	31
5.3	Kemiallinen hapenkulutus	32
5.4	Liukoinen ja kokonaisfosfori.....	32
5.5	Liukoinen ja kokonaistyyppi	33
5.6	Fosforikuormitus.....	34

5.7	Typpikuormitus.....	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38
	LÄHTEET.....	40

LIITE

1 Fosforikuormituslaskelmat

1 JOHDANTO

Suomen vesistöjen tila on yleisesti ottaen hyvä, suurelta osalta jopa erinomainen (Ympäristöministeriö 2013). Sisävesien rehevöityminen on kuitenkin ollut kasvussa jo vuosikymmenien ajan, ja erityisesti pienet, matalat järvet kärsivät vesistöihin kohdistuvasta päästökuormituksen aiheuttamasta rehevöitymisestä (Pietiläinen 2008, 7; Ympäristö.fi). Suurin syy rehevöitymiseen on ihmisen toiminnan aiheuttama ravinnekuormitus, joka vaikuttaa vesiemme laatuun monin tavoin heikentävästi (Pietiläinen 2008, 7). Rehevöityneessä vesistössä minimiravinteen, eli kasvituotantoon tarvittavan vähimmäisravinteen, määrä on kasvanut ja siten levien ja muiden vesikasvien kasvu kiihtynyt. Yleensä kyse on kohonneista fosforipitoisuuksista, mutta fosforin määrän ollessa suuri, voi minimiravinteena toimia myös typpi (Särkkä 1996, 63, 126).

Euroopan Unionin tavoitteena on pintavesien hyvä tila alueellaan, ja tavoitteen toteutumiseksi vuonna 2000 julkaistiin EU:n vesipuitedirektiivi, eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista. Direktiivin tarkoituksena on luoda yhtenäiset puitteet sisämaan pintavesien, sekä rannikko- ja pohjavesien suojelulle EU:n jäsenmaissa. Vesipuitedirektiivi velvoittaa jäsenmaansa useisiin toimenpiteisiin, joilla pyritään estämään vesiekosysteemien heikkeneminen ja pohjaveden pilaantuminen, edistämään kestäväää vedenkäyttöä ja vesiensuojelun tehostamista, sekä lieventämään tulvien ja kuivuuden vaikutuksia. Vesipuitedirektiivin mukaan jäsenvaltioiden on muun muassa laadittava ohjelmia pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan seuraamiseksi, sekä toimenpideohjelmat vesien hyvän tilan saavuttamiseksi. Tavoitteena oli alun perin saavuttaa vesien hyvä tila vuoteen 2015 mennessä, mutta toimenpiteet ovat vaatineet lisää aikaa (Ympäristöministeriö 2013).

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella Savilahteen laskevien luonnollisten vesiuomien vedenlaatua, sekä arvioida Rokkalanjoen tuomaa ravinnekuormaa Savilahdelle. Ravinnekuorma pyritään arvioimaan virtaamamittausten ja vedenlaatuanalyysien, sekä VEMALA-nimisen työkalun avulla. Työssä tarkastellaan jokireitin valuma-aluetta ja alueen maankäyttöä, ja saatujen ravinnekuormatulosten perusteella on tavoitteena myös löytää kuormituksen oleellisimpia päästölähteitä. Vuoksen vesistöön, Suur-Saimaan Ukonveteen kuuluva Mikkelin Savilahti luokiteltiin vuonna 2015 ekologiselta tilaltaan tyydyttäväksi ja kemialliselta tilaltaan hyväksi. Savilahden veden laatuun vaikuttavat

erityisesti kaupungilta tulevat hulevedet sekä Rokkalanjoelta tuleva kuormitus. (Kärkkäinen 2015, 9). Osansa päästökuormitukseen tuovat myös Savilahden sataman vesiliikenne ja lahden hitaasti vaihtuva vesi.

Opinnäytetyön tilaajana on Mikkelin ammattikorkeakoulun Veden ja ilman monitorointi ympäristön tilan turvaamiseksi Etelä-Savossa -hanke eli VIM-hanke. Hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä ja vähentää ympäristöpäästöjä Etelä-Savossa, ja sen aikana Mikkelin seudun vesistöistä tuotetaan ja mallinnetaan ympäristömittaustietoa selvittämällä esimerkiksi luonnonvesien koostumusta, ja niistä löydettyjen haitta-ainepitoisuuksien aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto, Euroopan unionin aluekehitysrahasto (EAKR kestävä kasvua ja työtä 2014–2020 Suomi), Etelä-Savon Energia Oy, Metsäsairila Oy sekä Mikkelin Vesilaitos. (Mikkelin ammattikorkeakoulu).

2 VESISTÖKUORMITUS

Vesistöt ottavat vastaan valuma-alueidensa valuma- ja hulevedet. Eroosion myötä, maan aineksen mukana, vesistöön huuhtoutuu maan laadusta riippuen erilaisia ravinteita ja epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat vesistökuormitusta. Maan kasvipeitteisyys ja rakeisuus vaikuttavat eroosioon; mitä paljaampi ja huokoisempi maa on, sitä alttiimpi se on eroosiolle. (Penttinen 2010, 222).

Vesistöihin kulkeutuneet ravinteet ja muut epäpuhtaudet vaikuttavat oleellisesti vesien kemialliseen ja biologiseen laatuun; vesien sameutuminen, verkkojen limoittuminen, sekä runsaat sinileväkukinnot viestivät vesistöön kohdistuvasta ravinnekuormituksesta (Pietiläinen 2008, 7). Kasvi- ja eläinplankton tuotannon, lajiston ja vedenlaadun muuttumisen myötä rehevöityminen vaikuttaa myös kalalajistoon muuttamalla vesistöä särkikalavaltaiseksi. Ravinnepitoisuuksien kohoaminen ja siten perustuotannon lisääntyminen lisäksi kuluttaa happea erityisesti alusvedestä aiheuttaen haittaa eliöstölle ja koko biodiversiteetille. (Särkkä 1996, 111- 112). Vesiekosysteemimme suojelemiseksi ja puhtaan veden turvaamiseksi vesiensuojelutoimia onkin tehostettava ja päästö- ja ravinnekuormitusta vähennettävä. Vesistöjen rehevöitymisen hidastamiseksi ja estämiseksi tehokkain toimenpide on ravinnekuormituksen, erityisesti ihmisistä peräisin olevan typpi- ja fosforikuormituksen, vähentäminen (Pietiläinen 2008, 7).

2.1 Valuma-alue

Jokaisella vesistöllä on valuma-alueensa. Valuma-alue muodostuu alueen topografian mukaan, eli on vedenjakajien, kuten mäkien, harjujen ja kallioperän rajaama alue. Näiden maanpinnan muotojen myötä alueen kaikki vedet päätyvät samaan vesistöön muodostaen valuma-alueen. (Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013). Valuma-alue voidaan jakaa lähivaluma- ja kaukovaluma-alueisiin veden kulkeutumisreittein mukaan. Lähivaluma-alueella vedet huuhtoutuvat järveen tai jokeen suoraan ja siten puhdistumatta, kun taas kaukovaluma-alueelta vedet kulkeutuvat pääjärveen tai jokeen esimerkiksi ojien ja sivujokien kautta, jolloin myös veden laatu voi muuttua matkalla. (Penttinen 2010, 222). Valuma-alueen määrittämiselle on olemassa kaikille avoimia työkaluja, kuten Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämä VALUE-niminen valuma-alueen rajaustyökalu.

2.2 Kuormituslähteet

Tässä työssä tutkittiin Savilahteen kohdistuvaa ulkoista ravinnekuormitusta. Ulkoisen kuormituksen selvittämiseksi tulee valuma-alueelta määrittää kuormituslähteet ja niistä peräisin olevan kuormituksen määrä (Penttinen 2010, 222). Kuormitus voi tulla piste- tai hajakuormituslähteestä. Pistekuormituslähde on tunnettu, rajattu ja hyvin mitattavissa oleva kuormituslähde, kuten viemärin suu tai purkupuutki. Hajakuormituksella sen sijaan tarkoitetaan alueellista, vaikeammin rajattavissa ja mitattavissa olevaa kuormituslähdettä, kuten peltoaluetta, metsää, soita tai ilmasta tulevaa laskeumaa. (Särkkä 1996, 125).

Koska hajakuormituslähteiden kuormitusta ei yleensä voida mitata tarkkaan, kuormituksen arviointi täytyy tehdä saatavilla olevan tiedon pohjalta. Arviointiin voi käyttää aiempia pelto-, metsä- ja asuma-alueiden ominaiskuormitusten selvitystuloksia sekä vedenlaatuanalyysien ja virtaamamittausten avulla laskettavaa kuormitusta. Mittaamalla laskujokien ja -ojien virtaamat ja määrittämällä eri ravinnepitoisuudet niiden vesistä, saadaan nämä kaksi arvoa kertomalla selville alueelle tuleva ravinnekuormitus esimerkiksi kg/vuorokausi tai kg/vuosi. Koska virtaama ja maalta tuleva huuhtouma vaihtelevat vuodenaikojen ja sääolosuhteiden mukaan, on luotettavan tuloksen saamiseksi mitaukset toistettava mahdollisimman usein ja erilaisissa olosuhteissa. (Penttinen 2010, 222–223).

Vesistöön kohdistuu ulkoisen kuormituksen lisäksi myös sisäistä kuormitusta. Tämä järven sisäisistä prosesseista johtuva kuormitus riippuu järven fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista ominaisuuksista ja tekijöistä. Järven rehevyystaso vaikuttaa olennaisesti sisäiseen kuormitukseen, sillä kasvillisuuden jätteet kerrostuvat järven pohjalle muodostaen hienojakoista sedimenttiä. Sedimenttiin sitoutuneet ravinteet vapautuvat takaisin veteen esimerkiksi bioturbaation myötä; kalojen ja pohjaeläinten tonkiessa pohjaa. Myös voimakkaat tuulet irrottavat pohjasedimenttiä ja vapauttavat siten ravinteita takaisin veteen, ja ravinteita vapautuu myös pohjasta nousevien kaasujen myötä. Näin ollen ravinteiden virta on kaksisuuntainen vedestä sedimenttiin ja sedimentistä takaisin veteen. Kun ravinteiden vapautuminen sedimentistä veteen on suurempaa, kuin niiden sitoutuminen vedestä sedimenttiin, puhutaan sisäisestä kuormituksesta. (Penttinen 2010, 224–225).

2.3 Jokien virtaama

Virtaavilla jokivesillä on tiettyjä tyypillisiä yhtenäisiä ominaisuuksia. Latvaosissa tapahtuu paljon eroosiota, kun taas alajuoksulla vallitsevampaa eroosion sijaan on sedimentoituminen. Veden sameus, sekä vesiuoman leveys, virtaama ja valuma-alueen pinta-ala kasvavat yläjuoksulta alaspäin siirryttäessä. (Särkkä 1996, 114–115).

Virtaama on uomapoikkileikkauksen kautta virtaussuuntaan aikayksikössä kulkeutuva vesimäärä (m^3/s). Tämän määrittämiseksi on uoman poikkileikkauksesta laskettava pinta-ala, sekä veden keskivirtausnopeus uoman eri pisteissä. (Korhonen 2007, 11). Luonnonuomissa virtaamamittauksia voidaan tehdä joko kahlaamalla, veneestä, sillalta tai jäältä käsin käyttäen esimerkiksi siivikkomittausta tai ultraäänilaitetta. Siivikkomittauksessa virtausnopeuden määrittäminen perustuu potkurimaiseen virtausanturiin, jonka pyörimisnopeus kuvaa veden virtausnopeutta. Ultraääneen perustuvassa virtaamamittauksessa veden virtausnopeus määritetään mittausanturin lähettämien ääniaaltojen kulkeutumisen perusteella. Virtaamaa voidaan mitata myös esimerkiksi merkkiainemittauksin, mutta nykyään käytetyimpiä menetelmiä ovat akustiikkaan liittyvät menetelmät niiden tarkkuuden, nopeuden, toistettavuuden ja luotettavuuden vuoksi. (Korhonen 2007, 12–13).

2.4 Ravinnekuormitustutkimuksia

Vesien heikentyneen tilanteen ja vesienhoidollisten tavoitteiden vuoksi ravinnekuormitustutkimuksia on tehty monin paikoin Suomea. Tässä osiossa tarkastelen Jyväskylän yliopiston Ympäristötutkimuskeskuksen tekemää selvitystä Mikkelin alapuolisen Saimaan ravinnekuormituksesta, sekä Lahdessa tehtyä ravinnekuormitustutkimusta, jossa alueelliset olot ovat Mikkelin Savilahden kanssa samankaltaisia. Oleellisena tekijänä on kaupungin, ja siten asutuksen ja teollisuuden, sijainti vesistön äärellä sekä maatalouden vaikutus vesistön valuma-alueella.

2.4.1 Mikkelin alapuolisen Saimaan ravinnekuormitus

Jyväskylän yliopiston Ympäristöntutkimuskeskus on tehnyt selvityksen Mikkelin alapuolisen Saimaan kuormituksesta ja julkaissut tuloksista tutkimusraportin vuonna 2013. Selvityksen tavoitteena oli määrittää kyseiseen vesialueeseen kohdistuva vesistökuormitus ja siihen vaikuttavat tekijät, sekä ohjata käytännön vesienhoitotoimenpiteitä niille alueille, joilla niitä on vesiensuojelullisesti ja taloudellisesti kannattavimpia tehdä. Selvityksessä tarkasteltiin vesialueiden vedenlaatua, vesistöjen kuormitusta sekä valuma-alueiden maankäyttöä. (Palomäki ja Kuhmonen 2013, 1).

Tutkimusalue, Mikkelin alapuolinen Saimaa, kuuluu Ukonveden valuma-alueeseen, ja alueen järvet luokitellaan keskikokoisiin humusjärviin. Alueen vesistö jaettiin selvityksessä yhdeksään osa-alueeseen, jossa Savilahden satamalahti kuuluu Pappilanselkä-Lau-nialanselkä-osa-alueeseen. Jokaisella osa-alueella on oma havaintopisteensä, josta vedenlaatua seurataan. Selvityksessä on esimerkiksi käytetty Savilahdessa sijaitsevan Mikkelin sataman havaintopaikan vedenlaatutietoja. Lisäksi selvityksessä on otettu erityistarkasteluun tässäkin työssä kohteena oleva Emolanjoen valuma-alue, sillä sieltä tulevan ravinnekuormituksen tiedetään olevan keskimääräistä suurempaa. (Palomäki ja Kuhmonen 2013, 1, 5–6).

Alueelle vuosien 2000-2011 aikana tehtyjen ravinnekuormitusselvitysten perusteella osa-alueisiin suurin fosfori- ja typpikuormitus mitattiin tulevan Rokkalanjoelta. Vesistöön kohdistuvasta fosforikuormituksesta Emolanjoen valuma-alueeseen kuuluvan

Rokkalanjoen tuoma osuus oli keskimäärin 2,96 kg/vrk, joka oli 37,7 % havaintopaikkojen yhteenlasketusta kuormituksesta. Typpikuormituksen keskimääräinen kuormitus Rokkalanjoelta oli 140 kg/vrk, jonka osuus yhteenlasketusta typpikuormituksesta on 45,2 %. Suuren ravinnekuormituksen taustalla on alueen maankäyttö, sillä valuma-alueella sijaitsee suurin osa Mikkelin kaupungin yhdyskuntarakenteesta. (Palomäki ja Kuhmonen 2013, 28).

Koko Ukonveden valuma-alueella suurin fosforikuormituksen lähde raportin mukaan on peltoviljely, joka tuottaa 50 % kaikesta fosforikuormituksesta. Muita kuormittajia ovat pistekuormitus ja laskeuma (15 %), asutuksen tuottama fosforikuormitus (11 %), sekä loppu neljännes muista, määrittelemättömistä lähteistä. Ukonveden typpikuormituksesta suurin osa, 52 %, tulee pistekuormituksena ja laskeumana, pelloilta tulevan typpikuormituksen osuus on 16 %, asutuksen 1 %, ja loput 31 % muista lähteistä. Pistekuormituksen osuus kokonaiskuormituksessa on alueella suuri johtuen Kenkäveronniemessä sijaitsevasta Mikkelin jätevedenpuhdistamosta. (Palomäki ja Kuhmonen 2013, 29).

Raportissa todettiin erityisesti vesistöalueen pohjoisosien olevan rehevöityneitä liiallisen fosforikuormituksen ja -pitoisuuden vuoksi, sekä kärsivän alusvesien happiongelmistä ja ekologisen tilan heikkoudesta, ja olevan siten ravinnekuormituksen vähentämisen tarpeessa. Huomiota tulisi kiinnittää ulkoisen kuormituksen vähentämiseen, sekä erityisesti jätevedenpuhdistamolta tulevaan kuormitukseen. Ongelmat johtuvat osittain myös altaiden pienestä tilavuudesta, sillä eteläisemmillä vesialueilla tilavuuden ollessa suurempi myös vesien viipymä on suurempi, ja ravinteiden sedimentoituminen siten mahdollista. (Palomäki ja Kuhmonen 2013, 60).

2.4.2 Vesijärven ravinnekuormitus

Lahden seudun ympäristöpalvelut ja Päijät-Hämeen Vesijärvisäätö julkaisivat vuonna 2015 raportin Vesijärveen kohdistuvasta lasku-uomien tuomasta ravinnekuormituksesta. Raportti perustuu vuosina 2008–2015 tehtyyn seurantaan, ja on osa vesistöjen hoitoon keskittyvää Vesijärvi-ohjelmaa. Vesijärvi kuuluu Kymijoen vesistöalueeseen, ja sijaitsee Lahden, Hollolan ja Asikkalan kuntien alueella. Luokittelultaan Vesijärvi kuuluu suuriin vähähumuksisiin järviin, ja vuonna 2013 järven tila arvioitiin tyydyttäväksi. Tilaan vaikuttaa erityisesti järven kokoon nähden sen pieni valuma-alue, jolloin

järvi on erityisen altis ihmisen toiminnan vaikutuksille ja siten esimerkiksi rehevöitymiselle. (Järveläinen ym. 2015, 2).

Raportin mukaan Vesijärven vedenlaatuun on viime vuosikymmeninä vaikuttanut erityisesti järven eteläpäähän rakentunut Lahden kaupunki, ja sen myötä teollisuuden ja asutuksen jätevesien lisääntyminen. Selvitysten mukaan suurin lasku-uoman tuoma ravinnekuormitus tulee Haritunjoesta, jonka keksimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli seuranta-aikana 3300 µg/l (vaihteluväli 900–9700 µg/l) ja kokonaisfosforipitoisuus 88 µg/l (vaihteluväli 30–320 mg/l). Raportissa todetaan näytteiden edustavan pääasiassa kevään ja syksyn virtaamahuippujen pitoisuuksia, joka voi vääristää pitoisuuden todellista korkeammaksi. (Järveläinen ym. 2015, 5).

Vesijärveen tulevaa kuormitusta selvitettiin Vesijärven alapuolisen valuma-alueen osalta lasku-uomien kautta pitoisuusmäärittäyksillä ja laskennallisen valunnan avulla, ja yläpuolisen valuma-alueen osalta valuma-alueille määritettyjen keskimääräisten pinta-alapainotettujen kuormitusarvojen avulla. Lasku-uomista tulevaksi vuotuiseksi fosforikuormaksi raportissa arvioitiin 5530 kg P/a, jossa kolmen suurimman uoman kuormitukset olivat 1420 kg P/a (Haritunjoki), 780 kg P/a (Myllyoja) ja 500 kg/a (Hammonjoki). (Järveläinen, J., ym. 2015, s. 7). Raportin mukaan lasku-uomien tuoma vuotuinen typpikuormitus oli arviolta 209000 kg N/a, jossa eniten kuormittavat uomat olivat samat, kuin fosforikuormituksessa; Haritunjoelta 54100 kg N/a, Myllyojasta 36150 kg N/a ja Hammonjoesta 29900 kg N/a. (Järveläinen ym. 2015, 9).

Vesijärveen kohdistuvasta kuormituksesta on tehty selvityksiä myös vuosina 2002–2005. Näiden vuosien tuloksiin verrattaessa Vesijärveen tulevan fosforikuormituksen määrä oli uudemmissa laskennoissa vähentynyt kolmella neljästä eniten kuormittavan joen valuma-alueesta, kun taas typpikuormitus oli kasvanut kolmella neljästä joen valuma-alueesta. Fosforikuormituksen laskun syyksi arvellaan mineraalilannoituksen vähentymistä maatalousvaltaisilla alueilla, mutta typpikuormituksen kasvulle ei raportissa osattu kertoa syytä. (Järveläinen ym. 2015, 11).

3 VEDENLAATUPARAMETRIT

Vesistöjen ja veden laatua voidaan arvioida monenlaisilla parametreilla ja luokituksilla. EU:n vesipuidedirektiivi velvoittaa jäsenmaitaan muodostamaan pintavesien seuranta-verkon, jolla vesistöalueiden ekologisesta ja kemiallisesta saadaan kattava kuva. Tilaa tulee seurata vedenlaatumuuttujien avulla, ja analysoitujen tulosten perusteella jaotella vesimuodostumat viiteen luokkaan; huono, välttävä, tyydyttävä, hyvä ja erinomainen. Luokittelun yhtenä tavoitteena on seurata ihmisen toiminnan vaikutuksia vesiympäristölle. (2000/60/EY).

Vesistöjä voidaan luokitella myös käyttökelpoisuuden mukaan. Tällöin veden laatua tarkastellaan raakaveden hankinnan, kalastuksen, virkistyskäytön tai yleisen käyttökelpoisuuden vaatimusten ja raja-arvojen mukaisesti. Kemiallisten ja ekologisten laatu-tekkijöiden lisäksi käyttökelpoisuudessa otetaan huomioon myös hygieeniset olot, kuten bakteerien esiintyminen ja mahdolliset haitta-ainepitoisuudet eliöstössä ja sedimentissä. (Vuori ym. 2016, 25).

Tässä työssä tarkastelun kohteena ovat erityisesti rehevöitymistä aiheuttavien ravinteiden, fosforin ja typen, pitoisuudet. Analyysien tuloksia tarkastellaan ympäristöhallinnon julkaisemien veden laadun raja-arvojen perusteella, jossa vedet luokitellaan fosfori- ja typpipitoisuuksien perusteella karusta erittäin reheviin vesiin. Rehevöityneessä vesistössä ravinteiden määrä on kasvanut, ja vedenlaadun muutokset näkyvät myös esimerkiksi kemiallisen hapenkulutuksen (COD), sähkönjohtokyvyn ja värin kohonneina arvoina (Särkkä 1996, 126).

3.1 pH-arvo

Veden pH-arvo kuvaa veden happamuutta, ja on merkittävä veden ekologista tilaa kuvaava tekijä (Vuori ym. 2006, 42). Suomessa luonnonvedet ovat useimmiten lähellä neutraalia, eli pH 7,0, mutta suot, happamat laskeumat ja teollisuuden jätevedet laskevat vesistöjen pH-arvoa happamoittamalla niitä. (KVVY ry). Sitä vastoin esimerkiksi voimakkaat leväkukinnot nostavat kesäaikaan pH-arvoa jopa välille 8-10. Happamoituminen on erityisesti pienten, karujen järvien ongelma, ja ilmenee biologisen monimuotoisuuden heikkenemisenä (Vuori ym. 2006, 42). Vesien eliöstö on sopeutunut elämään happamuudeltaan neutraalissa vesiympäristössä, ja eliölajit alkavat kärsimään ja kadota

jo happamuuden laskiessa pH 6,0 alapuolelle. Suuri humuspitoisuus happamoittaa vettä alentaen sen pH-arvoa, ja myös vuodenajalla on suuri vaikutus veden pH-arvoon. (Oravainen 1999, 12).

3.2 Sähkönjohtokyky

Sähkönjohtokyky kertoo vedessä olevien suolojen, kuten natriumin, kaliumin ja kloridin, määrästä, ja arvo ilmoitetaan yksikössä mS/m (milliSiemensiä per metri) (Oravainen 1999, 10). Suomen vedet ovat yleensä vähäsuolaisia, ja sähkönjohtokyky siten pieni; sisävesissä arvot ovat 3,5–10 mS/m luokkaa (KVVY ry). Korkea sähkönjohtavuus kertoo korkeasta suolapitoisuudesta ja siten veteen päässeistä epäpuhtauksista. Esimerkiksi veteen mahdollisesti päässeet jätevedet nostavat veden sähkönjohtavuutta, jolloin arvo voi olla 50–100 mS/m. (Oravainen 1999, 10). Suolapitoisuutta lisäävät myös peltojen lannoitus, teiden suolaus ja yleinen ympäristön likaantuminen (KVVY ry).

3.3 Sameus

Sameus kuvaa vedessä olevien pienten hiukkasten määrää. Sameutta aiheuttavat useimmiten saviaines, rauta ja orgaaninen aine, ja kirkkauden lisäksi sameus vaikuttaa veden näkösyvyyteen. (Vuori ym. 2006, 39; Vanajavesikeskus). Sameuden määrittämisessä hyödynnetään useimmiten veden optisia ominaisuuksia, kuten valonsirontaa, jolloin sameus mitataan nefelometrisesti (Vuori ym. 2006, 39). Sameutta kuvataan yksiköllä NTU tai FTU, ja mitä kirkkaampi vesi on, sitä pienempi on sen sameusarvo. Kirkkaaksi luokitellun veden sameusarvo on alle 1 NTU, ja lievästi samean veden 1-5 NTU (KVVY ry; Vuori ym. 2006, 39). Sameuden määrittämisellä voidaan selvittää esimerkiksi ruoppauksen vaikutuksia lähivesille, sekä selvittää savikkoalueilla olevien vesien kulkeutumista (Vuori ym. 2006, 39). Useimmiten vedet ovat sameimpia kevättulvien aikaan, sekä kesällä leväkukintojen samentaessa vettä (Oravainen 1999, 8).

3.4 Kemiallinen hapenkulutus

Kemiallisella hapenkulutuksella (COD_{Mn}) mitataan vedessä olevien kemiallisesti hapatavien orgaanisten aineiden, kuten humuksen, määrää. Esimerkiksi metsäteollisuuden

ja suoalueiden valuma-alueilla pitoisuudet voivat olla koholla, kun taas teollisuuden jätevedet voivat vähentää orgaanisen aineksen määrää vedessä. (Oravainen 1999, 16). Ympäristöhallinnon määrittelemien vedenlaatuluokituksen raja-arvojen mukaan kirkkailla vesillä kemiallinen hapenkulutus on alle 4 mg/l, värittömillä vesillä 4-10 mg/l ja humusvesillä 10-20 mg/l (Ympäristöhallinto 2015).

3.5 Liukoinen ja kokonaisfosfori

Veden fosforipitoisuus on tärkeä veden rehevyyden arvioinnin parametri (Oravainen 1999, 17). Levät käyttävät fosforia ravinteenaan, ja siten fosforin määrä vedessä vaikuttaa suoraan myös leväkasvuston määrään. Kokonaisfosfori ilmoittaa vedessä olevan fosforin kokonaismäärän, ja liukoinen fosfori liukoisessa muodossa olevan fosforipitoisuuden (Vanajavesikeskus). Fosforipitoisuus vaihtelee vuodenajan, vesikerroksen ja esimerkiksi happipitoisuuden mukaan, ja suurimpia fosforikuormituksen aiheuttajia ovat maa- ja metsätalous, sekä asutuksen jätevedet (Oravainen 1999, 17; Vanajavesikeskus).

Fosforipitoisuuden avulla vesistön tilaa voidaan luokitella eri tavoin. Alle 15 µg/l fosforipitoisuudella vesistö luokitellaan karuksi, 15-25 µg/l lievästi reheväksi, 25-100 µg/l reheväksi, ja yli 100 µg/l pitoisuudella erittäin reheväksi (Ympäristöhallinto 2015). Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2015 julkaiseman vesien yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan sisävesissä veden laatu on erinomainen, mikäli veden kokonaisfosforipitoisuus on alle 12 µg/l. Alle 30 µg/l pitoisuudella luokitus on hyvä, alle 50 µg/l tyydyttävä, alle 100 µg/l välttävä, ja yli 100 µg/l kokonaisfosforipitoisuudella laatu on huono. (Mitikka 2015, 4).

3.6 Liukoinen ja kokonaistyyppi

Tyyppipitoisuus on fosforin ohella tärkeä rehevyyden arvioinnin parametri. Kokonaistyyppi kertoo veden kokonaistyyppipitoisuuden, ja sisältää kaikki typen muodot. (Oravainen 1999, 19). Tyypeä voi esiintyä vedessä liunneena typpenä, helposti hajoavina eloperäisinä yhdisteinä tai hitaasti hajoavina humusyhdisteinä, sekä epäorgaanisina yhdisteinä. Liukoisen typen pitoisuus kertoo liukoisessa muodossa olevan typen määrän.

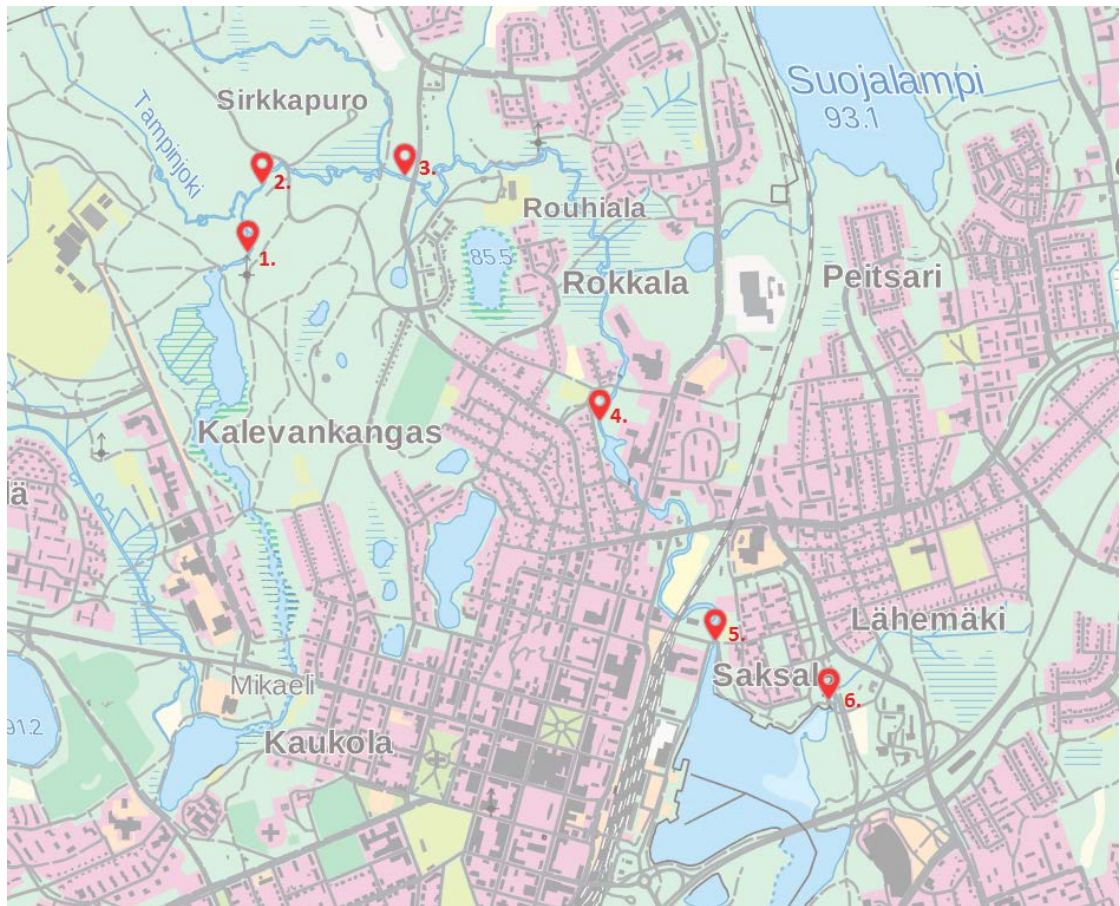
Erilaisten vesien typpipitoisuudet tunnetaan hyvin, ja alueilla onkin ominainen typpipitoisuustaso, mikäli siihen ei kohdistu erityistä kuormitusta. (Vuori ym. 2006, 43). Kesällä meneillään olevan tuotannon takia typpipitoisuus pysyy matalalla, kun taas talvella pitoisuus kasvaa. Vesien typpi on peräisin sade- ja jätevesistä, sekä valumavesistä, ja erityisesti peltojen lannoitus lisää vesiin kohdistuvaa typpikuormitusta. (Oravainen 1999, 19–20). Typpipitoisuuden ollessa alle 400 µg/l vesistö luokitellaan karuksi, 400–600 µg/l pitoisuudella lievästi reheväksi, 600–1500 µg/l pitoisuudella reheväksi, ja yli 1500 µg/l pitoisuudella vesistö on erittäin rehevä (Ympäristöhallinto 2015).

4 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

Tutkimusalue sijoittuu Hanhilammen ja Savilahden väliselle jokiosuudelle, sekä satama-alueeseen. Joen virtaamaa mitattiin neljästä pisteestä, joissa on otettu huomioon pääjokeen liittyvät sivujoet ja mahdollisesti niiden mukanaan tuoma kuormitus. Vesinäytteet otettiin virtaamamittauspisteiden lisäksi myös Savilahteen laskevien vesiuomien suulta. Taulukossa 1 on ilmoitettu mittaus- ja näytepisteiden koordinaatit, ja kuvassa 1 pisteet on esitetty kartalla toisiinsa ja jokeen nähden. Tässä työssä käytetään taulukossa 1 ilmoitettuja mittauspisteiden numeroita kuvaamaan mittauspisteiden sijaintia.

TAULUKKO 1. Mittaus- ja näytepisteiden koordinaatit

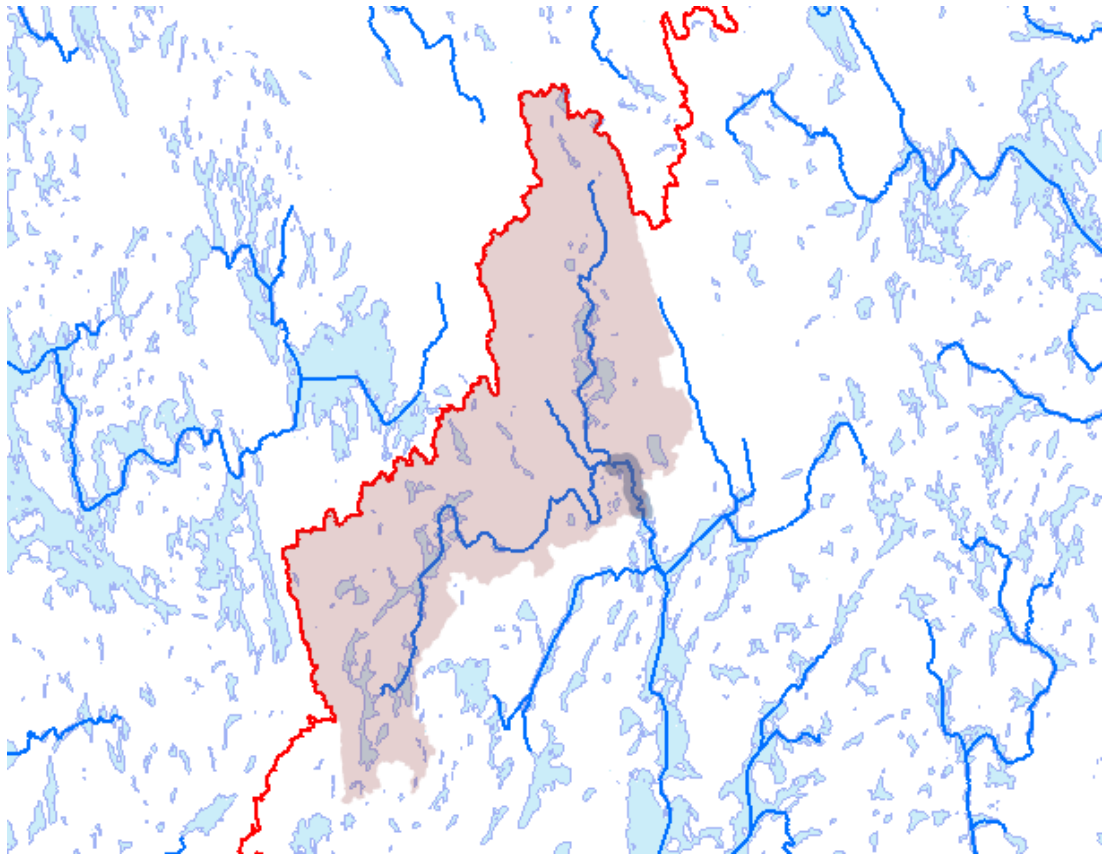
Mittauspiste	Mittauspisteiden nro	Koordinaatit
Hanhijoki, Hanhilammen alapuoli	1	N 61°42'16.4" E 027°15'16.8"
Hanhijoki, Tampinjoen alapuoli	2	N 61°42'24.4" E 027°15'20.5"
Hanhijoki, Sirkkapuron alapuoli	3	N 61°42'25.1" E 027°15'53.0"
Emolanjoki, Hauskankadun viereinen suora	4	N 61°41'58.0" E 027°16'37.9"
Rokkalanjoki, Saksalan kävelysilta	5	N 61°41'34.2" E 027°17'04.3"
Saksalan ja Ankkurikadun välinen vesiuoma	6	N 61°41'27.6" E 027°17'30.4"



KUVA 1. Mittauspisteet (Paikkatieto 2016)

4.1.1 Valuma-alueet

Hanhijoki- Emolanjoki kuuluu Emolanjoen valuma-alueeseen (kuva 2). Valuma-alue on pinta-alaltaan 115,79 km², ja ulottuu Otavan Oulanki-järveltä ylös lähes Ihastjärvelle asti (VALUE 2016). Mikkelin kaupunkikeskustan länsipuolella, 7-nimisen jokireitin varrella sijaitsee Mikkelin lentoasema ja golf-kenttä, josta joki jatkuu Kalevankankaan ulkoilumaastoa ja luonnonsuojelualuetta kohti. Jokireitin viimeinen osuus kulkee Rouhialan, Emolan ja Rokkalan kaupunginosien halki ohittaen asuinalueita, teollisuusalueen, sekä siirtolapuutarhan. Valuma-alueen pohjoisosasta valumavedet yhtyvät pääjokeen Särkijärveltä Hanhijokeen kulkevan joen kautta.



KUVA 2. Hanhijoen- Emolanjoen valuma-alue; merkitty vaaleanruskeana alueena (VALUE 2016)

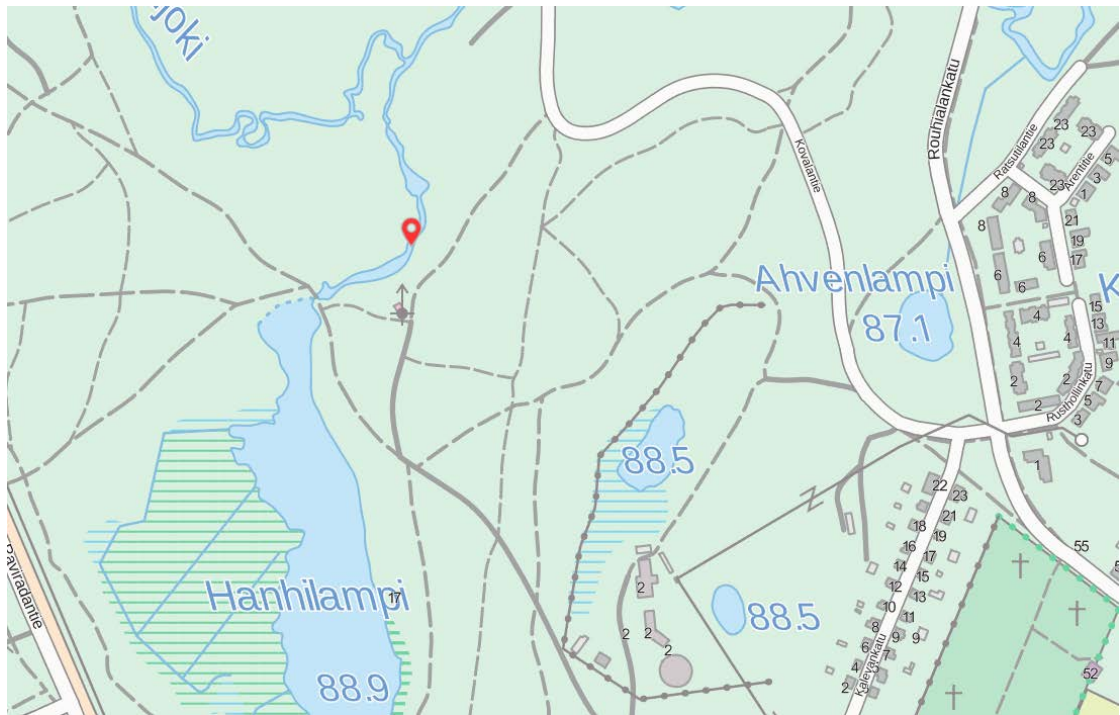
Emolanjoen valuma-alueesta noin kahdeksan prosenttia on järvien peitossa ja lähes 75 prosenttia on metsää. Valuma-alueesta soiden osuus koko pinta-alasta on hieman yli yhdeksän ja peltojen osuus noin kuusi prosenttia. Asuinalueet kattavat valuma-alueesta alle neljä prosenttia ja lisäksi alueella on pieniä määriä monivuotisia niittyjä, nurmia, taimitarhoja ja katettuja viljelmiä. Turvetuotantoa Emolanjoen valuma-alueella ei ole lainkaan. (Hertta 5.7 2016). Taulukossa 2 on kuvattuna valuma-alueen maankäytön jakautuminen prosentteina kokonaispinta-alasta.

TAULUKKO 2. Maankäytön jakautuminen Emolanjoen valuma-alueella (Hertta 5.7 2016)

Maankäytön tyyppi	% kokonaispinta-alasta
järviä	8,21
suoalueita	9,33
rivi- ja kytkettyjen pientalojen alueet	0,47
erillispientalojen alueet	3,25
turvetuotantoalueet	0,00
pellot	5,52
monivuotiset nurmet ja niityt	0,48
taimitarhat ja katetut viljelmät	0,02
käytöstä poistuneet maatalousmaat	0,95
luokittelemattomat metsätalouden maat	74,87
säännöstelemättömät luonnonvedet	8,06

4.1.2 Hanhilammen alapuolinen mittauspiste

Hanhilammen alapuolinen mittauspiste on mittauspiste numero 1 (kuva 3). Se sijaitsee Hanhilammen Natura-alueella noin 100 metrin päässä Hanhilammesta (Etelä-Savon ELY-keskus 2013). Mittauspaikan kasvillisuus on rehevää; länsipuolella lehtipuu- ja itäpuolella havupuuvältaista (kuva 4). Joki on melko matala, ja myötäilee Kalevankankaan harjujen reuna-alueita. Vaikka kohde on Mikkelin kaupungin välittömässä läheisyydessä, mittauspaikan läheisyydessä ei ole asutusta. Paikalla suoritettiin virtaamamittaukset ja otettiin vesinäytteet.



KUVA 3. Hanhिलammen alapuolinen mittauspiste (Paikkatieto 2016)

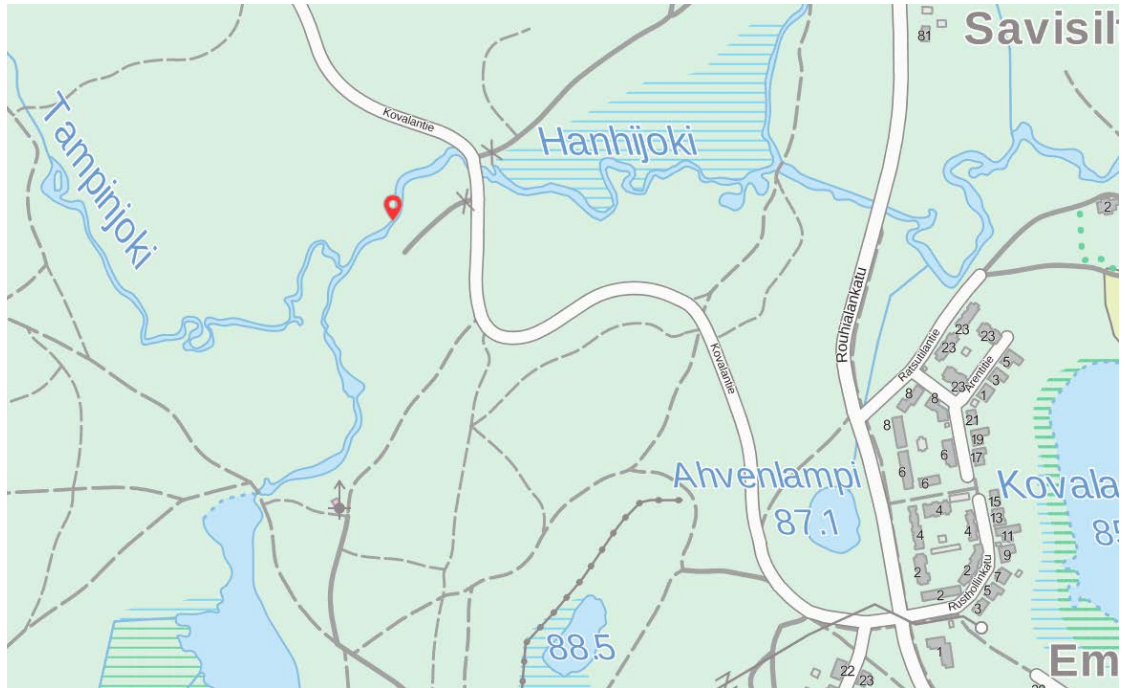


KUVA 4. Hanhिलammen alapuolinen mittauspiste (Thil 2016)

4.1.3 Tampinjoen alapuolinen mittauspiste

Mittauspiste numero 2 sijaitsee Hanhijoen lähellä Kovalantietä (kuva 5). Ensimmäisen ja toisen mittauspisteen välillä joki kulkee harjun vierellä, ja länsipuolelta jokeen

laskee Tampinjoki. Alue kuuluu Hanhilammen Natura-alueeseen, ja on tyypiltään kuusivaltaista, kuivaa kangasmetsää (Etelä-Savon ELY-keskus 2013). Mittauspaikalla joen uoma on hiekkapohjainen ja hyvin tasainen, ja soveltui siten hyvin virtaamamittauksiin (kuva 6). Lisäksi paikalta otettiin vesinäytteet veden laadun ja ravinnekuormituksen selvittämiseksi.



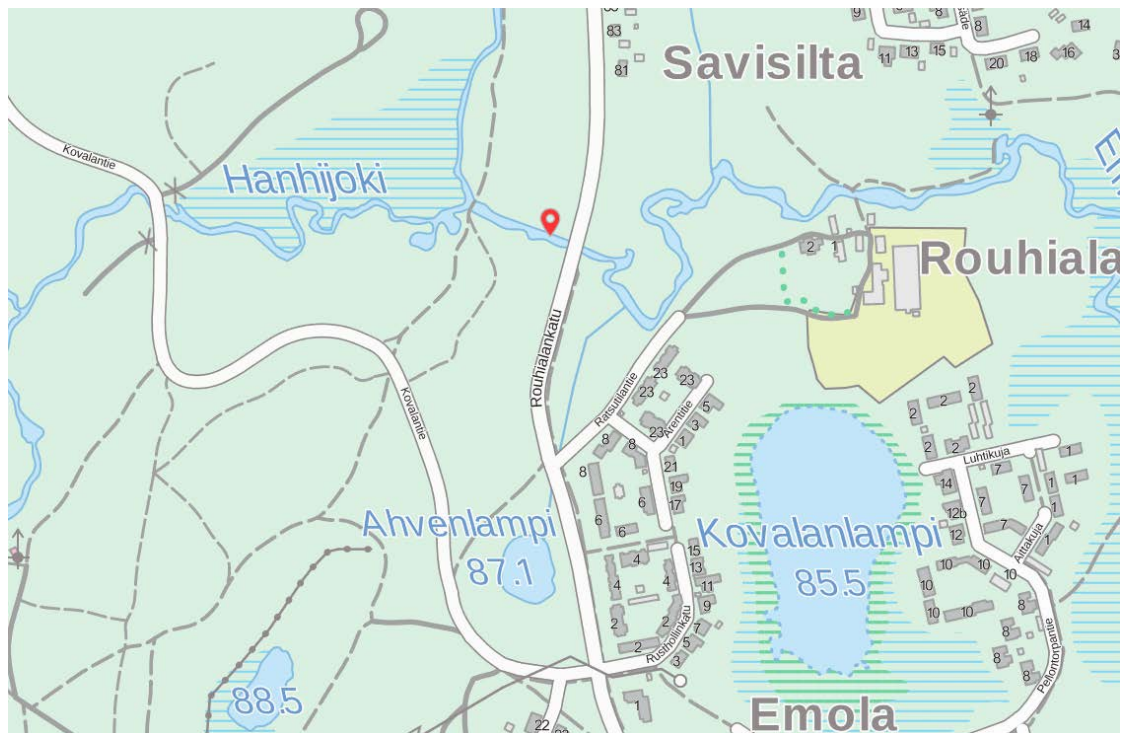
KUVA 5. Tampinjoen alapuolinen mittauspiste (Paikkatieto 2016)



KUVA 6. Tampinjoen alapuolinen mittauspiste (Thil 2016)

4.1.4 Sirkkapuron alapuolinen mittauspiste

Kolmas mittauspiste sijaitsee Rokkalan kaupunginosassa Rokkalankadun läheisyydessä (kuva 7). Mittauspisteiden 2 ja 3 välillä joki myötäilee suoalueen reunaa, ja jokeen laskee pohjoisesta Sirkkapuro. Alue on metsävaltainen ja osa Kalevankankaan ulkoilualueella, eikä alueella siten juuri ole asuinrakennuksia. Valuma-alueen pohjoisen osan vedet laskevat Hanhijokeen osittain Sirkkapuroa pitkin, joten kuormituksen voisi olettaa lisääntyvän kyseisellä näytepisteellä verrattuna edelliseen. Mittauspisteellä uomasta tehtiin virtaamamittaukset, sekä otettiin vesinäytteet (kuva 8).



KUVA 7. Sirkkapuron alapuolinen mittauspiste (Paikkatieto 2016)



KUVA 8. Sirkkapuron alapuolinen mittauspiste (Thil 2016)

4.1.5 Emolan mittauspiste

Emolan mittauspiste sijaitsee Emolan kaupunginosassa. Joen länsipuolella on Emolan ja Rouhialan omakotitaloalueet, ja itäpuolella metsää ja teollisuusrakennuksia (kuvat 9 ja 10). Näytepisteen lähellä on useita jokeen laskevia hulevesiuomia, ja näytepisteen yläpuolella joki laskee melko voimakkaasti maanpinnan korkeuseroista johtuen. Kohteessa suoritettiin virtaamamittaukset, sekä otettiin vesinäytteet.

ennen satamalahtea. Itäpuolella, junaradan takana on Mikkelin kaupunkikeskustaa ja länsipuolella Saksalan kerrostalo-alue. Näytepisteän pohjoispuolella on luonnontilaista puustoaluetta, sekä esimerkiksi siirtolapuutarha. Näytepisteän uoman suuri syvyys ja veden huono näkösyvyys estivät suorittamasta paikalta virtaamalukemia, joten paikalta otettiin vain vesinäytteet analyyseja varten (kuva 12).



KUVA 11. Sataman näytepiste (Paikkatieto 2016)



KUVA 12. Sataman näytepiste (Thil 2016)

4.1.7 Saksalan näytepiste

Saksalan näytepiste sijaitsee Saksalasta Ankkurikadulle vievän kävelysillan kohdalla (kuva 13). Pisteeltä ei voitu suorittaa virtaamamittausta joen rehevyyden ja sameuden vuoksi, eikä uomassa näyttänyt näytteenottohetkellä olevan virtausta ollenkaan. Pisteeltä otettiin siten vain vesinäyte laadullisia analyysejä varten. Näytepisteen itäpuolella on Saksalan pienvenesatama ja puistoalue, ja pohjoispuolella on asuinrakennuksia ja puistoalueita. Länsipuolella näytepistettä on avointa puistoaluetta, peltoa, sekä julkisia rakennuksia. Eteläpuolella, satamalahden itärannalla on ylijäämämaiden ja louheen väliaikaiseen varastointiin käytetty kenttäalue.

Vuoden 2013 jälkeen Savilahden itäisellä ranta-alueella suoritettiin Mikkelin kaupungin toimesta vesialueen kunnostusta ruoppaamalla. Ruoppausalue oli hyvin rehevöitynyt ja umpeen kasvanut, ja kunnostettavan alueen laajuus oli Savilahden sillan pohjoispuolella kaksi hehtaaria ja sillan eteläpuolella 0,1 hehtaaria. Kunnostushankkeen lupaehtoihin kuului työn tarkkailu siirrettävien massojen määristä ja laadusta, sekä suojaseinämän toimivuudesta ja mahdollisten sedimentistä veteen liuenneiden haitta-aineiden leviämisestä. (Aluehallintovirasto 2013). Näytepisteen Savilahden koillisosassa oleva uoma on rehevöitynyt, ja sen vesi on hyvin sameaa ja paikallaan pysyvää (kuva 14).



KUVA 13. Saksalan näytepiste (Paikkatieto 2016)



KUVA 14. Saksalan näytepiste (Thil 2016)

4.2 Virtaamamittaus Flowtracker-mittarilla

Virtaamamittaukset suoritettiin mittauspisteillä 1 ja 2 22.8.2016, ja mittauspisteillä 3 ja 4 23.8.2016. Jokireitin virtaamaa mitattiin kuvassa 15 olevalla SonTekin Flowtracker käsikäyttöisellä ADV:llä (Acoustic Doppler Velocimeter). Flowtracker-virtaamamittarin toiminta perustuu doppler-ilmiöön; mittapäässä olevat akustiset elementit lähettävät ja vastaanottavat äänipulsseja, ja mittaavat siten vedessä olevien liikkuvien kohteiden, kuten sedimentin, pienten organismien ja ilmakuplien heijastamaa äänen aaltoliikettä. Takaisin heijastuneen aaltoliikkeen signaalin perusteella Flowtracker laskee virtauksen nopeuden (m/s). Flowtracker tallentaa mittauksen aikana laadunhallintadataa, jota voi käyttää apuna tulosten tarkastelussa. (GWM-engineering Oy 2004).



KUVA 15. Flowtracker Handheld ADV-virtaamamittari (Thil 2016)

Virtaamamittauspaikan tulee olla mahdollisimman suoralla jokiosuudella, jotta virtaus kulkee mitta-anturiin oikeassa kulmassa. Virtausvaihteluiden ja pyörteiden välttämiseksi mittauspaikan tulisi olla myös mahdollisimman puhdas oksista, puista ja muista vedessä olevista kappaleista. Vedensyvyyden tulee syvimmässäkin mittauskohdalla olla turvallinen mittaajan seisoa, ja Flowtracker soveltuu käytettäväksi korkeintaan noin metrin syvyydessä vedessä. (GWM-engineering Oy 2004).

Virtaaman laskemiseksi Flowtracker määrittää virtausnopeuden lisäksi uoman poikkileikkauksen pinta-alan. Luotettavan tuloksen ja hyvän topografian muodostamiseksi joen poikkileikkauksesta tulee ottaa vähintään 20 arvoa. Joen leveys mitataan mittapai-

kalta virittämällä mittanauha joen yli, ja arvopisteiden sijainnit merkitään Flowtrackeriin. (GWM-engineering Oy 2004). Mittauksen aikana mittaaja kulkee mittarin kanssa uoman poikkileikkauksessa ja tallentaa Flowtrackeriin arvoja veden syvyydestä (kuva 16). Tutkimuskohteena olevalla jokiosuudella arvot mitattiin mittauspisteestä riippuen noin 30 cm:n välein. Virtausnopeuden ja joen uoman poikkileikkauksen pinta-alan perusteella Flowtracker laskee poikkileikkauksen läpi kulkevan veden tilavuuden (m³/s). Uoman virtaama mitattiin kolme kertaa, ja tarkasteluun valittiin edustavin tulos.



KUVA 16. Virtaamamittaus Flowtrackerilla 22.8.2016 (Laurila 2016)

4.3 Vedenlaatuanalyysien ja ravinnekuorman määritykset

Vesinäytteet otettiin virtaamamittausten jälkeen 29.8.2016. Näytteet otettiin näytepulloihin keräimen avulla noin 30 cm:n syvyydestä vastavirrasta keskeltä uomaa. Analyysit suoritettiin kolmesta osarinnakkaisnäytteestä elokuun lopulla ja syyskuun alussa Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa.

Vedenlaatua tutkittiin määrittämällä näytteistä lämpötila, pH-arvo, sähkönjohtokyky, sameus, kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}), liukoinen ja kokonaistyyppi (N), sekä liukoinen ja kokonaisfosfori (P). Lämpötila mitattiin heti näytteenoton yhteydessä, ja pH-arvo, sähkönjohtokyky ja sameus vesinäytteen ollessa lämpötilaltaan 25 °C. Analyysit suoritettiin kullekin vedenlaatuparametrille asetetun standardin mukaan. Taulukossa 3 on esitetty analyysihin käytetyt standardit ja laitteet.

TAULUKKO 3. Vedenlaatuanalyysihin käytetyt standardit ja laitteet

Analyysi	Standardi	Käytetty laite
lämpötila		lämpömittari
pH-arvo	SFS 3021	Radiometer PHM210 Standard pH meter
sähkönjohtokyky	SFS-EN 27888	WTW Cond 3310 SET 1
sameus	SFS-EN ISO 7027-1:2016:en	Oakton turbidimeter
COD_{Mn}	SFS 3036	
kok. ja liuk. N	SFS 5505	Bychi Distillation Unit K-355
kok. ja liuk. P	SFS-EN 1189	Hach Lange DR 6000

Lasku-uomasta tuleva ravinnekuormitus laskettiin uoman veden ravinnepitoisuuden ja virtaaman perusteella, jossa ravinnekuormitus/ainevirtaama (kg/d) = pitoisuus (mg/l) * virtaama (l/s).

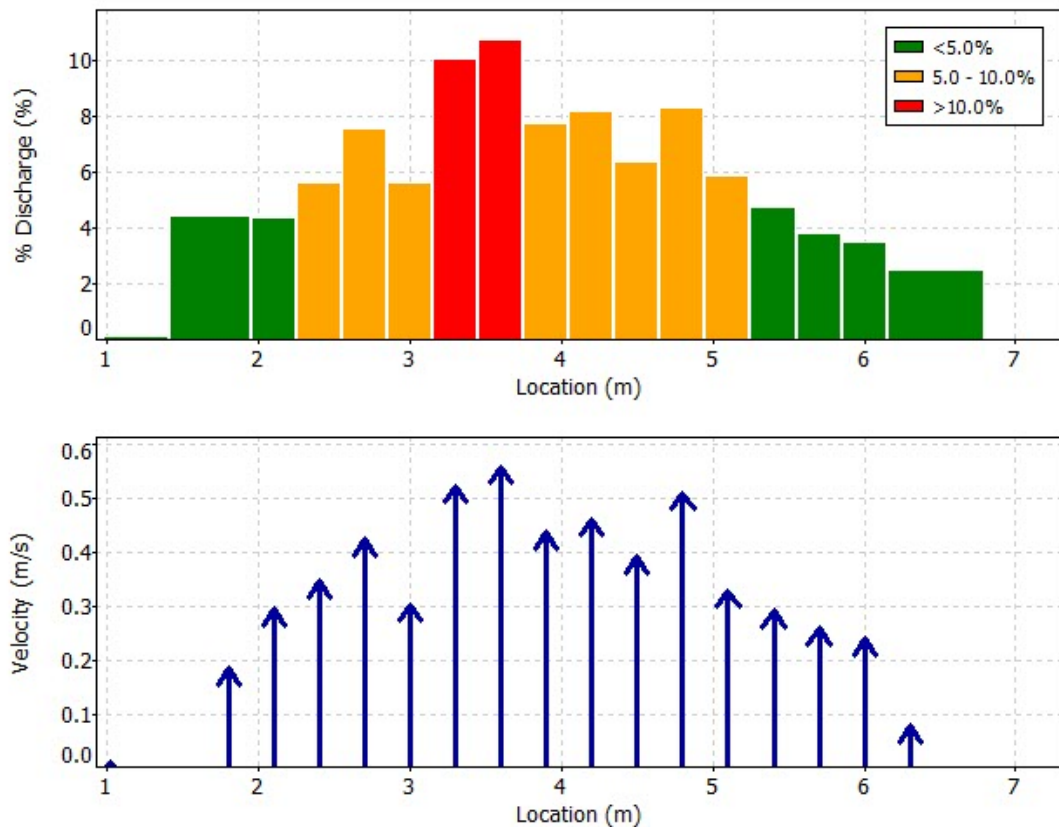
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Tässä työssä esitetyn ravinnekuorman arvioinnin perustana käytetään vain yhden päivän aikana tehtyjä virtaamamittauksia ja yhden näytteenottokerran vedenlaatuanalyysijä. Tämä aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin, ja päivä- ja vuosikohtaiset kuormitukset ovat vain arvioita; tulokset kuvaavat parhaiten mittaushetken pitoisuuksia ja virtaamaa. Pitkän aikavälin luotettavan tuloksen arvioimiseksi joen virtaamaa olisi seurattava eri vuodenaikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa, ja vedenlaatuanalyysijä tehtävä useammin.

Tuloksia verrataan Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän vedenlaadun ja ravinne-kuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä VEMALAn virtaama- ja kuormitusarvioihin. VEMALA on Suomen vesistöt kattava ravinnekuormitusmalli, joka simuloi ravinteiden huuhtoutumista, kulkeutumista ja pidättäytymistä vesistöissä perustuen hydrologisiin malleihin ja tietoihin ravinneprosesseista. VEMALasta löytyy päivittäiset virtaama- ja ravinnepitoisuustiedot, sekä näiden perusteella arvioidut kuormitustiedot. (SYKE 2014).

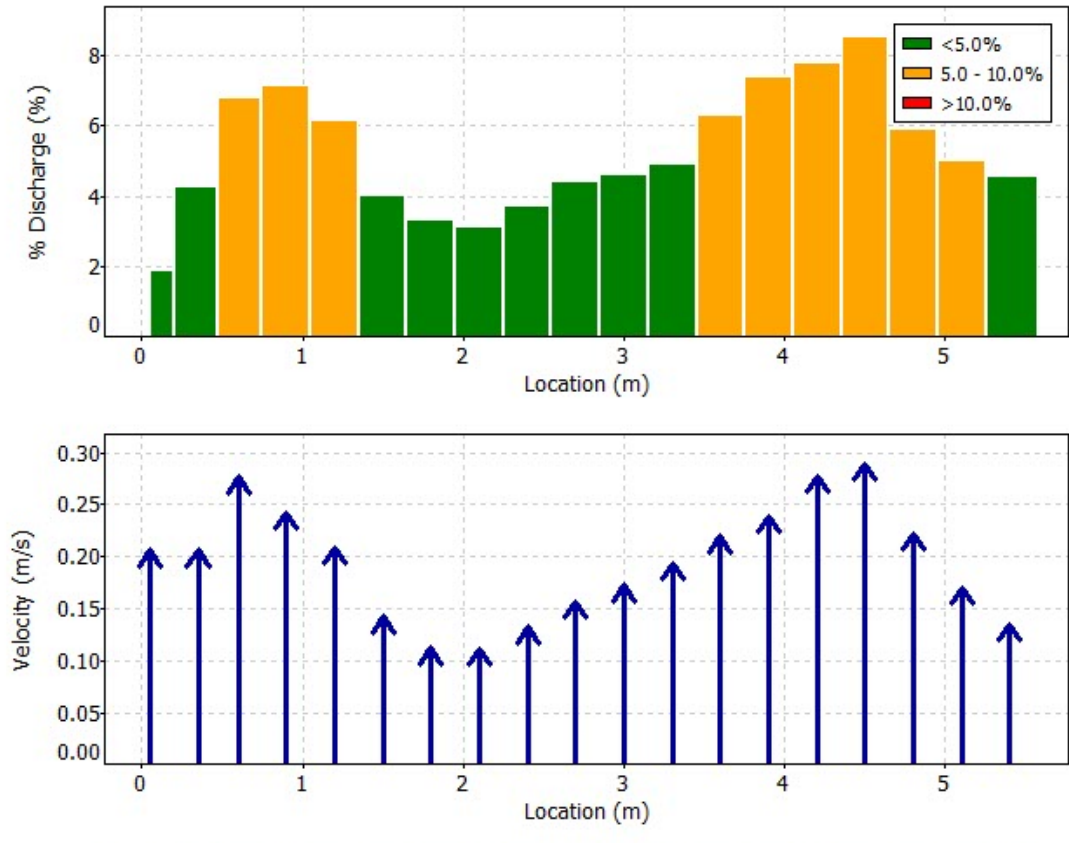
5.1 Virtaama

Mittauspisteen numero 1 kokonaisvirtaama oli 404 l/s. Kuvassa 17 on esitettyä virtaaman jakaantumisen ja virtauksen nopeuden kuvaajat uomassa poikkileikkauksessa virtaussuunnan mukaisesti. Ylempi kuvaaja, % Discharge (%), kuvaa virtaaman jakaantumista uomassa. Suurin virtaama kulkee uomassa 3 ja 4 metrin välillä (>10,0 %), ja virtaaman osuus uomassa on alle 5 %. Alempi kuvaaja, Velocity (m/s), kuvaa virtausnopeutta poikkileikkauksen eri pisteissä. Poikkileikkauksen reunoilla virtaus on hitaampaa, vain noin 0,1–0,2 m/s, ja nopeinta virtaus on noin 3,5 metrin kohdalla nopeuden ollessa yli 0,5 m/s. VEMALAn tietojen mukaan virtaama ensimmäisellä mittauspisteellä olisi 22.8.2016 ollut 194 l/s. Flowtrackerilla mitattu virtaama on siten VEMALAn arvioivaa virtaamaa suurempi.



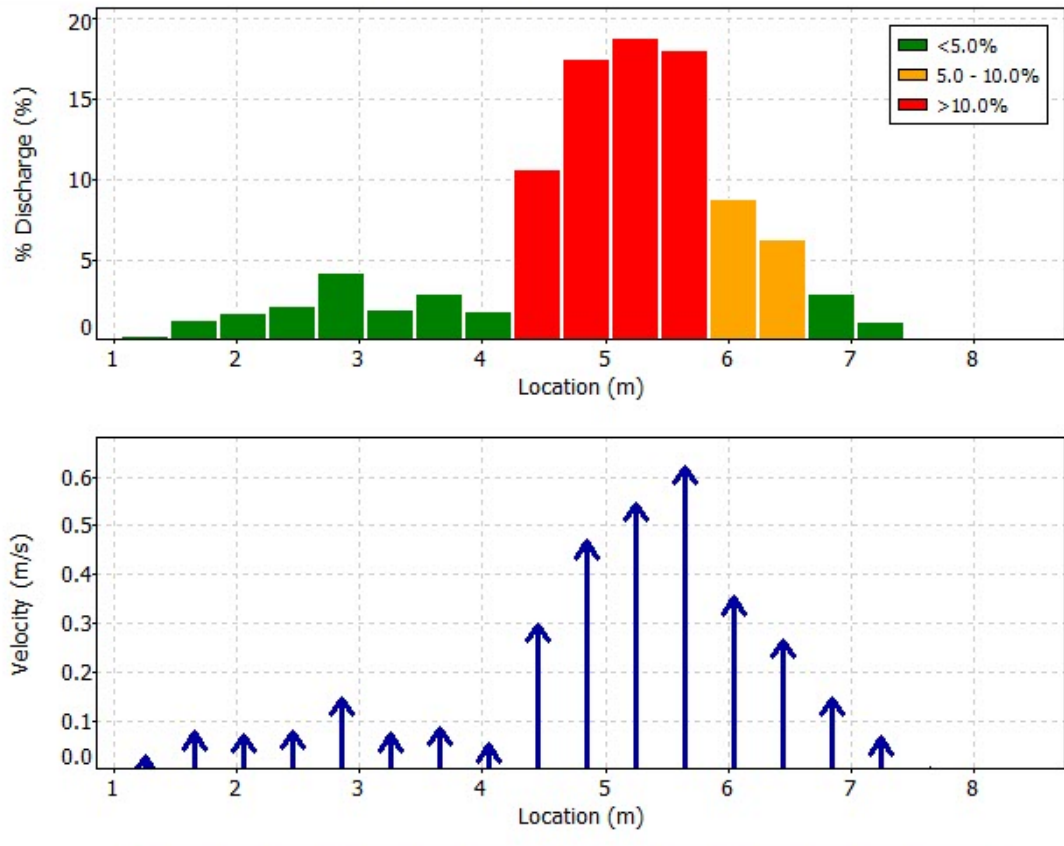
KUVA 17. Virtaaman jakaantuminen ja virtausnopeus mittauspiste 1 poikkileikkauksessa (Flowtracker 2016)

Mittauspiste 2 kokonaisvirtaama oli 428 l/s. Kuvassa 18 on esitetty kyseisen mittauspiste 2 virtaaman jakaantuminen ja virtausnopeus poikkileikkauksessa, kuten edellä olevassa kuvassa 17. Mittauspisteellä suurin virtaama jakaantui poikkileikkauksen keskiosan sijaan reunoille, jossa mitattiin myös suurimman virtausnopeudet. Lähellä uoman reunoja virtausnopeus oli 0,25–0,30 m/s, kun se keskeimmällä oli alimmillaan vain 0,10–0,15 m/s. Toisen mittauspiste 2 virtaama oli VEMALAN mukaan 22.8.2016 393 l/s, joka on melko lähellä Flowtrackerin ilmoittamaa virtaamaa.



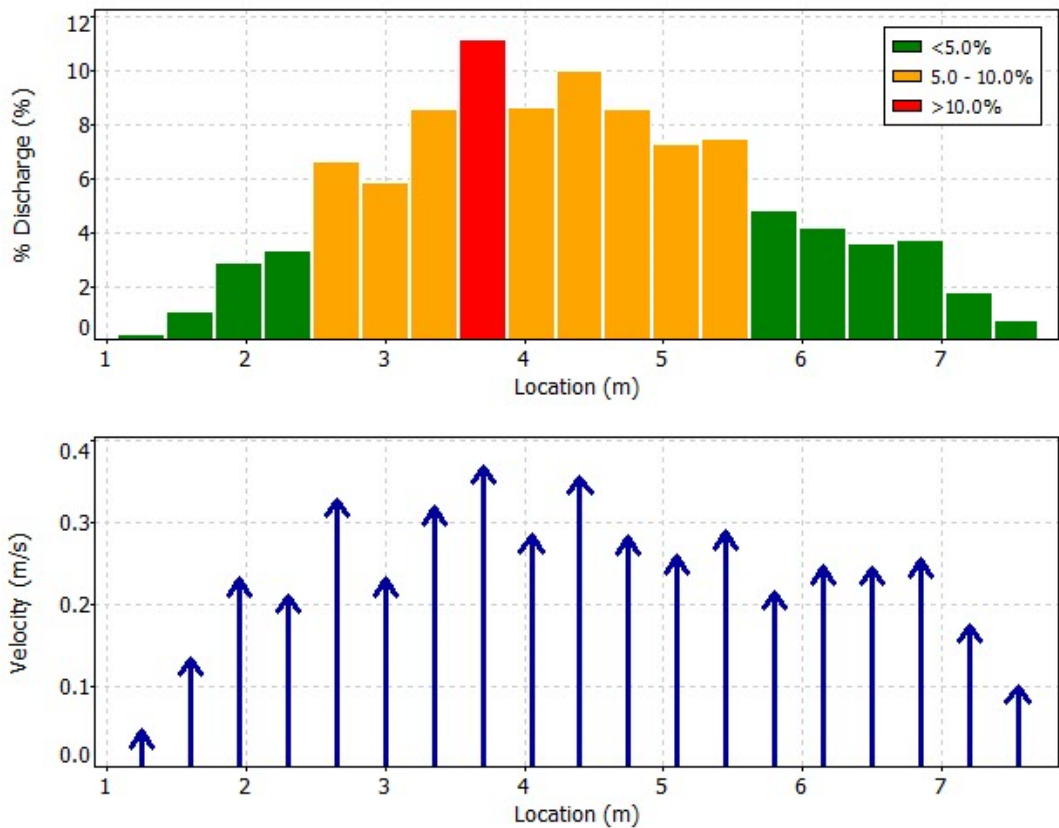
KUVA 18. Virtaaman jakaantuminen ja virtausnopeus mittauspisteiden 2 poikkileikkauksessa (Flowtracker 2016)

Mittauspisteellä numero 3 kokonaisvirtaama oli 580 l/s. Uomassa virtaus oli hyvin epätasainen, ja virtaama keskittyi hyvin kapealle alalle poikkileikkauksessa noin 4 ja 6 metrin välille (kuva 19). Virtausnopeus oli tällä kohdalla korkeimmillaan hieman yli 0,6 m/s. Uoman reunoilla virtaama oli hyvin heikkoa, ja virtausnopeus pääasiassa alle 0,1 m/s. VEMALAn tietojen mukaan kolmannen mittauspisteiden kohdalla virtaama oli 23.8.2016 199 l/s, eli huomattavasti vähemmän, kuin tässä työssä mitattu virtaama.



KUVA 19. Virtaaman jakaantuminen ja virtausnopeus mittauspisteiden 3 poikkileikkauksessa (Flowtracker 2016)

Viimeisellä virtaamamittauspisteellä, pisteellä numero 4, kokonaisvirtaama oli 624 l/s. Virtaaman määrä kasvoi melko tasaisesti uoman reunoilta keskelle päin, ja virtausnopeus vaihteli 0,1–0,4 m/s välillä (kuva 20). VEMALAn mukaan virtaama viimeisellä mittauspisteellä oli 23.8.2016 395 l/s, joten myös tässä mittauspaikassa mittaus Flowtrackerilla antoi suuremman virtaamatuloksen.

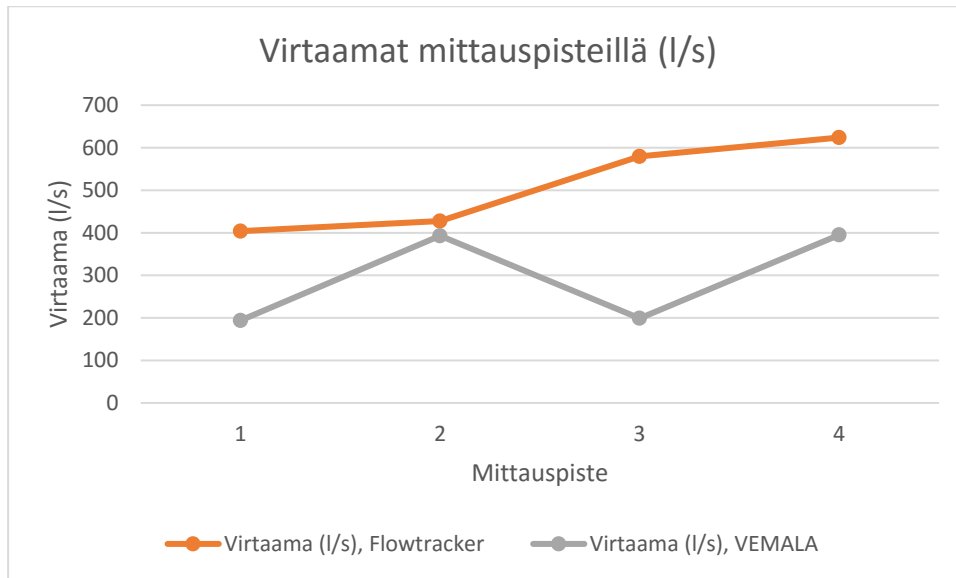


KUVA 20. Virtaaman jakaantuminen ja virtausnopeus mittauspisteen 4 poikki-leikkauksessa (Flowtracker 2016)

Kokonaisvirtaama ensimmäiseltä mittauspisteeltä viimeiselle mittauspisteelle kasvoi jopea alaspäin hieman, mutta ero ei ole merkittävä (taulukko 4). Kuvassa 21 on esitetty kuvaajina virtaamien kasvut Flowtracker-mittauksissa ja VEMALAn tietojen pohjalta. Flowtrackerilla mitattuna virtaama kasvoi aina mittauspisteeltä seuraavalle, mutta VEMALAn virtaama-arvioiden mukaan virtaama olisi vähentynyt mittauspisteeltä 2 mittauspisteelle 3.

TAULUKKO 4. Virtaamat Flowtrackerilla ja VEMALAn tietokannassa

Mittauspiste	Flowtracker (m ³ /s)	Vemala (m ³ /s)
1	0,404	0,194
2	0,428	0,393
3	0,580	0,199
4	0,624	0,395



KUVA 21. Virtaaman kasvu kuvaajana

5.2 Lämpötila, pH, sähkönjohtokyky ja sameus

Taulukossa 5 on esitetty veden lämpötila näytteenottohetkellä, pH-arvo, sähkönjohtokyky, sekä sameus. Lämpötila oli mittauspisteillä 8,6–12,7 °C, ja lämpötila aleni joen laskusuuta kohden mennessä. pH-arvo oli kaikilla näytepisteillä 6,9 tai 7,1, eikä pH-arvossa siten ole havaittavissa poikkeavuuksia, vaan kaikilla mittauspisteillä veden pH oli lähellä neutraalia.

TAULUKKO 5. Analyysien tulokset

Näytepiste	T (°C)	pH	sähkönjohtokyky (mS/m)	sameus (NTU)
1	12,7	6,9	8,45	2,77
2	12,2	6,9	7,88	2,68
3	12,1	6,9	6,53	2,11
4	11,6	7,1	7,32	1,94
5	11,2	7,1	7,46	2,06
6	8,6	6,9	31,2	27,9

Mittauspisteillä 1-5 sähkönjohtokyky oli 6,53–8,45 mS/m, joka on normaali arvo sisävesissä. Mittauspisteellä numero kuusi sähkönjohtokyky oli 32,1 mS/m, ja on siten selkeästi muita mittauspisteitä korkeampi arvo. Sameuden vaihtelu oli mittauspisteillä 1–

5 välillä 1,94–2,77 NTU, ja mittauspisteellä numero kuusi sameus oli 27,9 NTU. Mittauspisteillä 1–5 vesi oli Ympäristöhallinnon luokittelun mukaan lievästi sameaa, ja mittauspisteellä numero kuusi erittäin sameaa.

5.3 Kemiallinen hapenkulutus

Kemiallinen hapenkulutus vaihteli kaikilla mittauspisteillä välillä 11,20–19,60 mg/l (taulukko 6). Ympäristöhallinnon luokittelun mukaan tutkimuskohteen kaikki vesinäytteet olivat siten humuspitoisia, mikä on Suomen vesistöille hyvin tyypillistä.

TAULUKKO 6. Kemiallisen hapenkulutuksen tulokset

Näyte	COD _{Mn} (mg/l)
1	19,60
2	16,00
3	15,20
4	19,60
5	11,20
6	11,20

5.4 Liukoinen ja kokonaisfosfori

Liukoisen ja kokonaisfosforin pitoisuudet näytepisteillä on esitetty taulukossa 7. Kokonaisfosforin pitoisuus näytepisteillä 1–5 oli 14,99–17,70 µg/l, ja yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan näiden näytepisteiden vedenlaatu luokitellaan hyväksi. Kokonaisfosforipitoisuuden osalta näytepisteiden 1–5 vedenlaatu luokitellaan Ympäristöhallinnon mukaan lievästi reheväksi. Näytepisteen numero kuusi kokonaisfosforipitoisuus oli 76,07 µg/l, ja luokitus siten yleisen käyttökelpoisuuden mukaan välttävä ja Ympäristöhallinnon luokituksen mukaan rehevä. Näytepisteen numero kuusi kohonnut fosforipitoisuus voi johtua veden hitaasta vaihtuvuudesta ja siten fosforin kerääntymisestä uomaan. Keskimäärin puolet vesinäytteissä esiintyvistä fosforista on liukoisessa muodossa.

TAULUKKO 7. Liukoisien ja kokonaisfosforin pitoisuudet

Näytepiste	Liukoinen P ($\mu\text{g/l}$)	Kokonais P ($\mu\text{g/l}$)
1	8,84	17,08
2	11,00	17,70
3	8,00	15,68
4	8,23	14,99
5	9,01	17,62
6	27,22	76,07

5.5 Liukoinen ja kokonaistyyppi

Taulukossa 8 on ilmoitettuna vesinäytteiden liukoisien ja kokonaistypen pitoisuudet. Ilmoitetut tulokset on laskettu osarinnakkaisnäytteiden analyysitulosten keskiarvoista. Mittauspisteillä 1–5 veden typpipitoisuus on alle 1 mg/l, ja mittauspisteellä numero kuusi liukoisien typen pitoisuus 1,23 mg/l ja kokonaistypen pitoisuus 1,12 mg/l. Käytetty typenanalysointimenetelmä soveltuu standardin SFS 5505 mukaan jätevesien epäorgaanisen ja orgaanisen typen pitoisuuksille, jossa typpeä on vedessä yli 1 mg/l, eikä menetelmä siten ole tarpeeksi tarkka tutkimuskohteen vesille. Standardin mukaan analysoinnissa suoritettavaan titraukseen tulisi käyttää byrettiä, jonka tarkkuus on $\pm 0,005$ ml, kun tässä työssä käytetty byretti oli tarkkuudeltaan $\pm 0,05$ ml. Epätarkkuudesta johtuen tulokset eivät ole loogisia liukoisien typen pitoisuuden ollessa suurempia, kuin kokonaistypen pitoisuudet. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä typpipitoisuuksien olevan hyvin pieniä, ja typen esiintyvän näytevesissä suurimmaksi osaksi liukoisessa muodossa.

TAULUKKO 8. Liukoisen ja kokonaistypen pitoisuudet

Näytepiste	Liukoinen N (mg/l)	Kokonais N (mg/l)
1	0,42	0,48
2	0,42	0,92
3	0,50	0,56
4	0,45	0,28
5	0,62	0,64
6	1,23	1,12

5.6 Fosforikuormitus

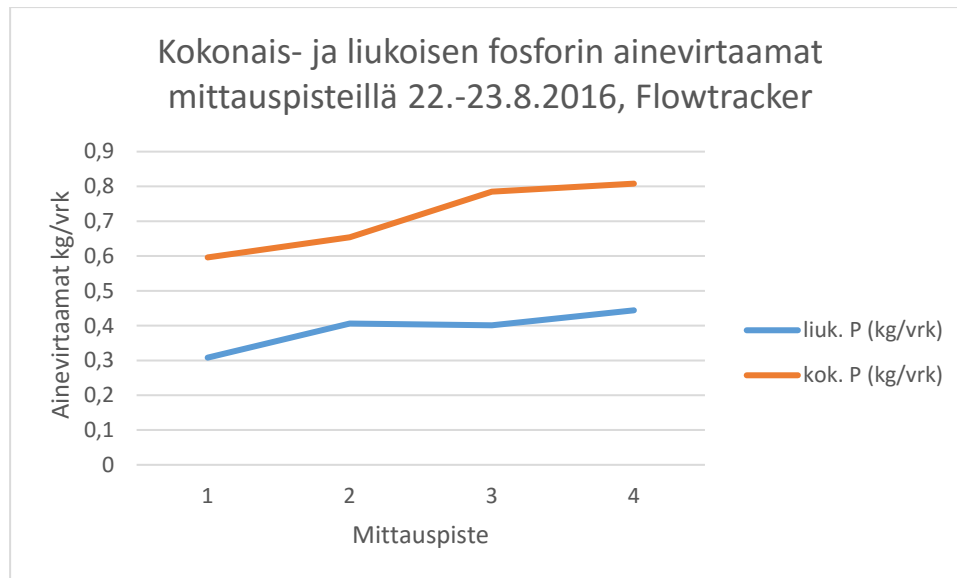
Flowtrackerilla mitatun virtaaman ja analysoitujen fosforipitoisuuksien perusteella lasketut fosforikuormat on esitetty taulukossa 9. Ensimmäisellä mittauspisteellä vuorokauden kokonaisfosforikuorma on noin 0,6 kg vuorokaudessa ja 218 kg vuodessa, kun se viimeisellä mittauspisteellä on noin 0,8 kg vuorokaudessa ja 295 kg vuodessa. Rokkalanjoen kokonaisfosforikuormitus Savilahdelle on siis 800 g vuorokaudessa ja noin 300 kg vuodessa.

TAULUKKO 9. Fosforikuormat mittauspisteillä Flowtrackerin virtaamatulosten perusteella

Mittauspiste	kok. P (kg/vrk)	kok. P (kg/a)	liuk. P (kg/vrk)	liuk. P (kg/a)
1	0,596	217,55	0,308	112,60
2	0,654	238,68	0,406	148,33
3	0,785	286,60	0,401	146,27
4	0,808	294,93	0,444	161,93

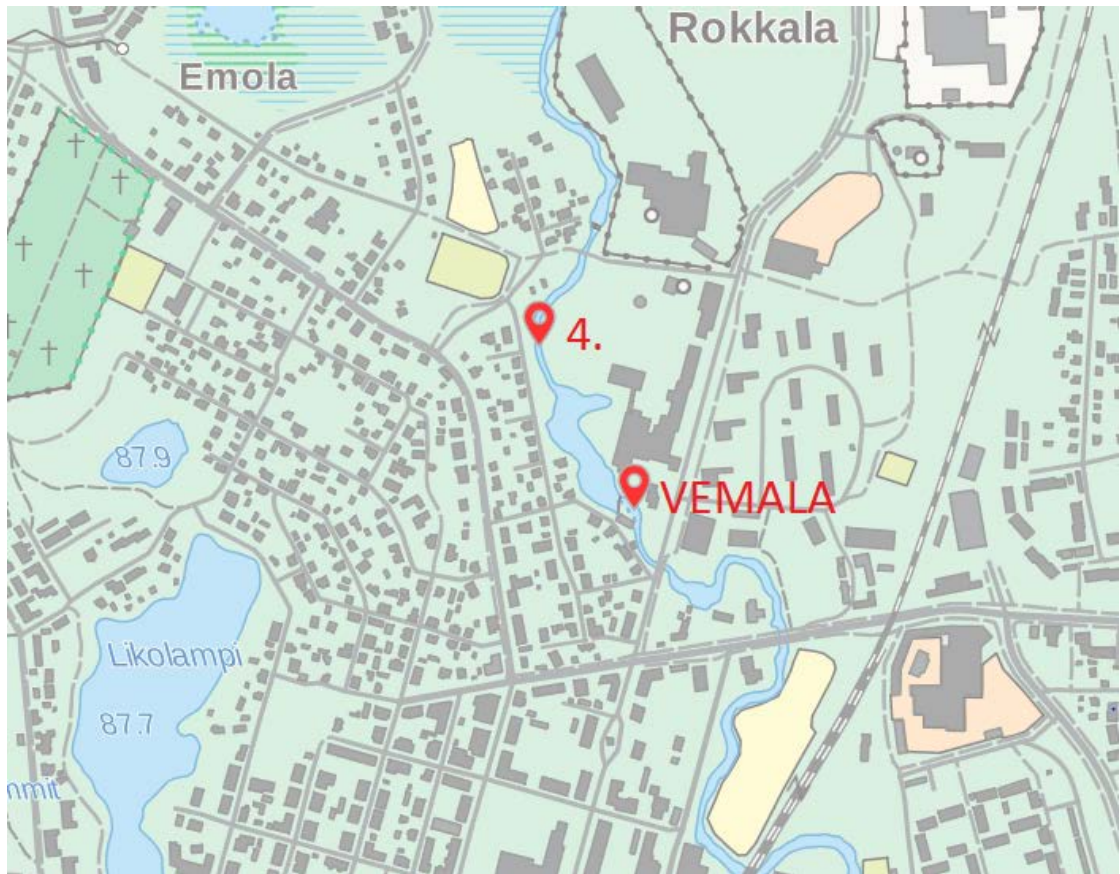
Kuvassa 22 on esitettyä kuvaajana kokonais- ja liukoisen fosforin lasketut ainevirtaamat mittauspisteillä mittausajankohtana 22.–23.8.2016. Edetessä mittauspisteitä joen virtaussuunnassa fosforipitoisuus kasvaa melko tasaisesti. Fosforikuormituksen suuruus on viimeisellä mittauspisteellä vain noin 200 g/vrk enemmän, kuin ensimmäisellä mittauspisteellä, ja suurin kuormitus näyttäisi tulevan pisteiden kaksi ja kolme välissä. Kuormitus on kuitenkin hyvin vähäistä, eikä yksittäisiä kuormituslähteitä pysty tulok-

sien perusteella sanomaan. Lasketut ainevirtaamat on laskettu vain yhden virtaamamittauksen ja fosforianalyysin perusteella, joten kyseiset vuorokausikuormat ovat paikkan-sapittäviä vain, mikäli virtaamassa ja pitoisuuksissa ei esiinny vaihtelua.



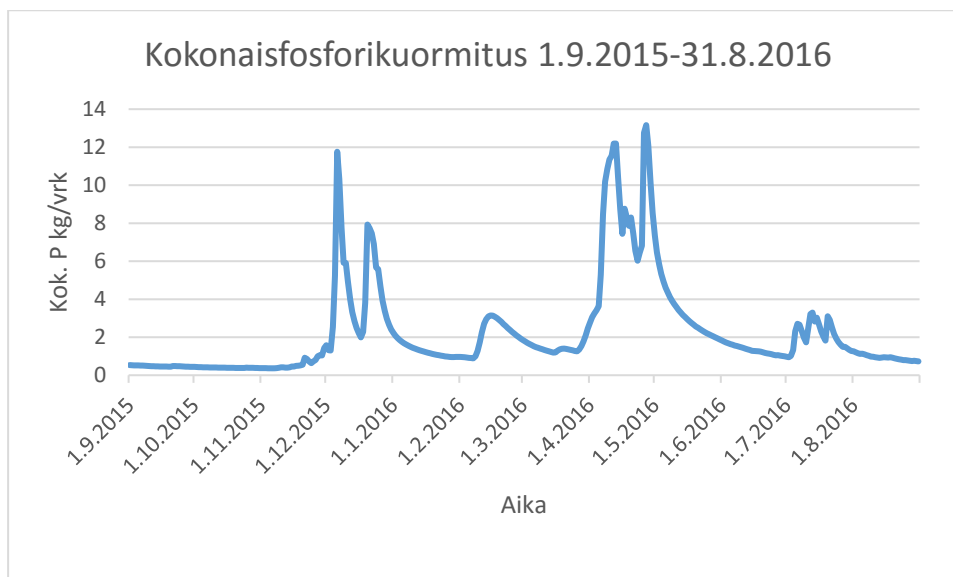
KUVA 22. Kokonais- ja liukoisen fosforin ainevirtaamat mittauspisteillä 22.–23.8.2016, Flowtrackerin virtaamatulosten perusteella laskettuna (kg/vrk)

VEMALAn kuormitustietojen mukaan Rokkalanjoen kokonaisfosforikuormitus oli 23.8.2016 kuvaan 23 merkityllä havaintopisteellä 0,818 kg/vrk. Tässä työssä tehtyjen mittausten ja analyysien perusteella kyseisellä jokiosuudella vuorokausikuormitus oli 0,808 kg/vrk, joten tulokset vastaavat hyvin toisiaan. Vuositasolla kokonaisfosforikuormitus oli VEMALAn mukaan aikavälillä 1.9.2015–31.8.2016 noin 821 kg/a.



KUVA 23. Mittauspiste 4 ja vertailukohteen, VEMALAn tietojen, mittauspiste (Paikkatieto 2016)

VEMALAn kuormitustietojen mukaan fosforikuormitus Rokkalanjoelta Savilahdelle kasvaa erityisesti joulutammikuussa, sekä keuhällä huhtitoukokuussa (kuva 24). Suurimmillaan kuormitus on ollut huhtikuun lopulla, jolloin kuormitus on ollut noin 13 kg/vrk. Tässä työssä tehtyjen analyysien ajankohtana, elokuun lopulla, kuormitus on pienimmillään. Talven fosforikuormituspiikki johtuu vähäisestä ravinteiden käytöstä, jolloin fosforia kertyy veteen, ja kevään kuormitus on seurausta lumien sulamisvesistä, jotka huuhtovat ravinteita vesistöön.



KUVA 24. Kokonaisfosforikuormitus Rokkalanjoelta Savilahteen 1.9.2015–31.8.2016 (VEMALA 2016)

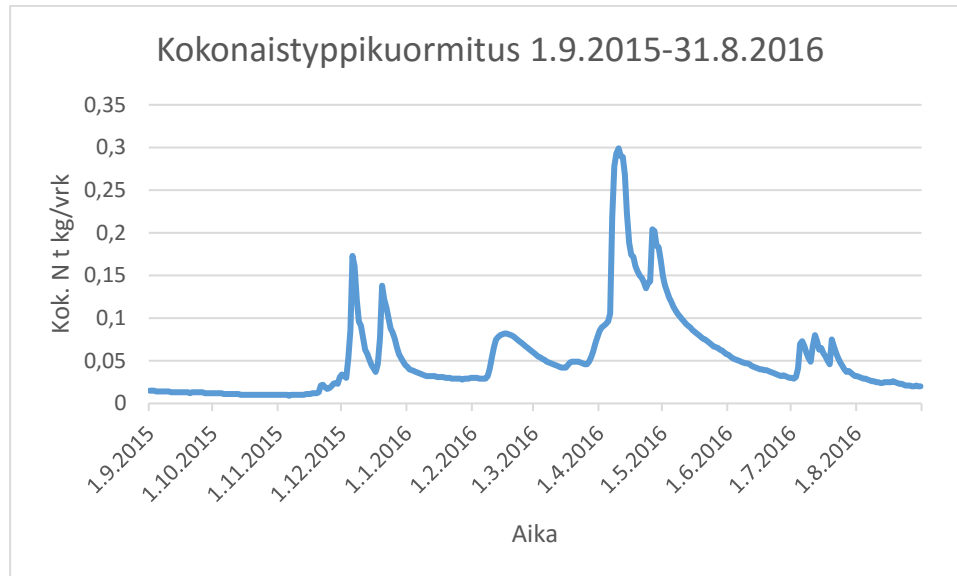
Palomäen ja Kuhmosen vuoden 2013 raportin mukaan Rokkalanjoen tuoma kokonaisfosforikuormitus Savilahdelle vuosien 2000–2011 aikana oli keskimäärin 2,96 kg/vrk. VEMALAn tietojen mukaan tarkastelujaksolla 1.9.2015–31.8.2016 kuormitus oli keskimäärin 2,24 kg/vrk. Näiden fosforikuormitusarvioiden välinen ero on hyvin pieni, mutta tulos antaa olettaa fosforikuormituksen hieman pienentyneen viime vuosina.

5.7 Typpikuormitus

Analysoidun typpipitoisuuden ollessa määritysrajan alapuolella, typpikuormitusta ei lasketa tässä työssä käytettyjen menetelmien perusteella. Kuormituksen laskemiseksi veden typpipitoisuus tulisi määrittää siihen soveltuvalla menetelmällä, jolloin tulokset olisivat vertailukelpoisia. VEMALAn tietojen mukaan kokonaistyppikuormitus Rokkalanjoella 23.8.2016 oli 22 kg/vrk, ja päivittäisten pitoisuus- ja virtaama-arvioiden mukaan laskettuna vuosikuormitus 19,599 kg/a.

Kokonaistyppikuormituksen piikit ajoittuvat fosforikuormituspiikkien kanssa samoille ajankohdille (kuva 25). Suurinta kuormitus on ollut huhtikuussa, jolloin päiväkohtainen kuormitus on noussut hetkellisesti noin 300 kilogrammaan vuorokaudessa. Vähäisintä kuormitus on syksyllä, kun typpivarastot on käytetty loppuun. Tämä tukee myös tässä

työssä tehtyjä typpipitoisuuden analysointituloksia, jotka osoittivat pitoisuuksien olevan hyvin pieniä elokuun loppuvaiheessa.



KUVA 25. Kokonaistyyppikuormitus Rokkalanjoelta Savilahteen 1.9.2015–31.8.2016 (VEMALA 2016)

VEMALAn arvioihin perustuva keskiarvo kokonaistyyppikuormitukselle Rokkalanjoelta Savilahdelle ajanjaksolta 1.9.2015–31.8.2016 oli 54 kg/vrk, kun vastaava kuormitusarvio oli Palomäen ja Kuhmosen vuoden 2013 raportissa 140 kg/vrk. Näiden tulosten mukaan tyyppikuormitus olisi siis pienentynyt huomattavasti verrattuna vuosiin 2000–2011. Kuormituksen kehityssuunnan todentamiseksi tarkasteluun täytyisi ottaa jokainen vuosi erikseen, sillä kuormituksen määrässä voi olla vaihtelua myös vuosien 2000–2011 tarkastelujaksolla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskohteena olevan Hanhilammen ja Savilahden välisen jokiosuuden vedenlaatu vastasi hyvin Suomen yleistä vesistöjen laatua. Näytepisteen numero kuusi vedenlaatu sen sijaan poikkesi muiden näytepisteiden vedenlaadusta täysin, ja vedenlaatuanalyysien tulokset viittaavat näytepisteen veteen kohdistuvasta poikkeuksellisen suuresta fosforikuormituksesta ja sameutta aiheuttavasta tekijästä. Todennäköisin sameuden syy on

Savilahdessa suoritettut ruoppaukset ja rantaviivan maanmuokkaustyöt, joiden seurauksena saviaines ja mahdollisesti rauta on liennut veteen. Maanmuokkaustyön vaikutuksia Savilahden vedelle tulisikin tutkia lisäanalyysien avulla.

Fosforikuormitus kokonaisfosforin osalta Rokkalanjoelta Savilahteen oli viimeisellä mittauspisteellä, sekä VEMALAn arvioiden mukaan noin 0,8 kg vuorokaudessa. Fosforipitoisuudet eri näytepisteillä olivat hyvin lähellä toisiaan, joten fosforin kerääntyminen jokiveteen on valuma-alueella hyvin vähäistä. Alueella suurin kuormituslähde on asutus.

Tavoitteesta poiketen typpikuormitusta ei pystytty typen analysointimenetelmän vuoksi arvioimaan, mutta typpikuormituksen voidaan todeta olevan hyvin pieni. Pienet pitoisuudet voivat johtua kesällä vallinneesta tuotantokaudesta, jolloin levät ja muu orgaaninen aines ovat käyttäneet typpivarastot hyvin pieniksi. Yleensä typpipitoisuus myös korreloi fosforipitoisuuden kanssa, eli fosforipitoisuuden ollessa pieni on myös typpipitoisuus pieni. (Pietiläinen 2008). Tämän tutkimuksen vesinäytteiden pitoisuudet olivat pieniä johtuen osittain vuodenajasta, ja laajemman ja todenmukaisemman vedenlaadun ja kuormituksen arvioimiseksi mittauksia tulisi suorittaa useammin ja eri vuodenaikoina.

Vertailtaessa tämän tutkimuksen ja VEMALAn arvioihin pohjautuvia kuormitustuloksia vuonna 2013 julkaistun raportin (Palomäki ja Kuhmonen 2013) tuloksiin, voidaan sekä kokonaisfosfori-, että kokonaistyppikuormituksen Rokkalanjoelta Savilahdelle todeta pienentyneen. Vaikka näiden tulosten perusteella ravinnekuormitus on pienentynyt, tulisi todellisen kehityssuunnan selvittämiseksi tarkastelua jatkaa vuosittain.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto, Itä-Suomi. Päätös nro 31/2013/2. Dnro ISAVI/90/04.09/2012. Annettu 17.5.2013. WWW-dokumentti. https://www.avi.fi/documents/10191/56840/isavi_paatos_31_2013_2-2013-5-17.pdf/83cdc791-9f3d-49b2-a177-98b06c4270ec. Luettu 30.10.2016.

Etelä-Savon ELY-keskus. Hanhilampi. Ympäristö.fi. WWW-dokumentti. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Hanhilampi\(6551\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Hanhilampi(6551)). Julkaistu 8.7.2013. Päivitetty 2.9.2013. Luettu 30.10.2016.

Flowtracker PC-ohjelmisto. Luettu 1.9.2016.

GWM-Engineering oy. 2004. SonTek Flowtracker käsikäyttöinen ADV tekninen dokumentaatio.

Hertta 5.7. 2016. Ympäristötietojärjestelmä. Vedenlaatu. Suomen ympäristökeskus. Luettu 18.9.2016

Järveläinen, Juhani, Malin, Ismo, Mäyränpää, Riikka, Kotakorpi, Matti ja Kuparinen, Mira 2015. Vesijärveen lasku-uomien kautta tuleva ravinnekuormitus ja sen vähentämismahdollisuudet. Lahden kaupunki. Tekninen ja ympäristötoimiala. Lahden seudun ympäristöpalvelut. WWW-dokumentti. https://www.lahti.fi/PalvelutSite/Ymparisto-Site/Documents/Ymp%C3%A4rist%C3%B6n%20tilaa%20koskevat%20julkaisut/2015_Ojakuormitusraportti.pdf. Luettu 22.9.2016.

Korhonen, Johanna. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristökeskus 2007. Julkaisu 45. Helsinki.

KVVY ry. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Vedenlaadun arvosteluperusteet. WWW-dokumentti. <http://www.vesikeskus.fi/vedenlaatu/index.php?sivu=arvosteluperusteet>. Luettu 14.9.2016.

Kärkkäinen, Jari 2015. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. Mikkelin kaupunki, Satamanlahden alue, luontoselvitys. WWW-dokumentti. http://www.mikkeli.fi/sites/mikkeli.fi/files/atoms/files/sataman_alueen_luontoselvitys_3.2.2015_luonnos.pdf. Luettu 21.9.2016.

Laurila, Niina. 22.8.2016.

Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry 2013. Pelastajarvi.fi- Valuma-alue. WWW-dokumentti. <http://www.pelastajarvi.fi/valuma-alue>. Luettu 10.10.2016.

Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tutkimus ja kehitys - Materiaalit ja ympäristöturvallisuus - Käynnissä olevat hankkeet – VIM. WWW-dokumentti. http://www.mamk.fi/tutkimus_ja_kehitys/materiaalit_ja_ymparistoturvallisuus/kaynnissa_olevat_hankkeet/vim

Mitikka Sari. Pintavesien yleinen käyttökelpoisuusluokitus. Ympäristö.fi. pdf-tiedosto. Julkaistu 7.12.2015. Luettu 7.10.2016.

Oravainen, Reijo 1999. Vesistötulosten tulkinta – opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. WWW-dokumentti. <http://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>. Luettu 21.9.2016.

Palomäki, Arja ja Kuhmonen, Irene 2013. Mikkelin alapuolisen Saimaan kuormitus selvitys. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus Ambiotica. Tutkimusraportti 99/2013. WWW-dokumentti. https://esvesienhoito.files.wordpress.com/2015/01/mikkelin_kuormitus selvitys_29082013_final_pienennetty.pdf. Luettu 15.10.2016.

Paikkatieto. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. Luettu 15.9.2016.

Pietiläinen, Olli-Pekka 2008. Yhdyskuntien typpikuormitus ja pintavesien tila. Suomen ympäristökeskus, julkaisu 46. Edita Prima Oy. Helsinki.

Penttinen, Kari, Niinimäki, Juhani 2010. Vesiensuojelun perusteet ja vesistöjen kunnostus. Opetushallitus. Tampere. Juvenes Print, Tampereen yliopistopaino Oy.

Särkkä, Jukka. Järvet ja Ympäristö - Limnologian perusteet 1996. Tampere. Tammer-Paino Oy.

Vanajavesikeskus. Vedenlaatuopas. WWW-dokumentti. http://www.vanajavesi.fi/on-nimonni/wp-content/uploads/2014/02/vvk_vedenlaatuopas_vedos_191213.pdf. Luettu 20.9.2016.

SFS 3036. Veden kemiallisen hapen kulutuksen (COD Mn arvon tai KMnO₄ luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla. SFS-käsikirja 147-3 (2011). Vahvistettu 31.12.1981. Julkaisupäivä 24.12.2000.

SYKE, Suomen ympäristökeskus. Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä. Julkaistu 26.11.2014. Päivitetty 17.12.2015. Luettu 5.11.2016.

Thil, Salla. 22.–23.8.2016.

VALUE- valuma-alueen rajaustyökalu. Suomen ympäristökeskus. <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>. Luettu 22.9.2016.

VEMALA. Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä. Suomen ympäristökeskus. Luettu 10.10.2016.

Vuori, K.-M., Bäck, S., Hellsten, S., Karjalainen, S., Kauppila, P., Lax, H.-G., Lepistö, L., Londesborough, S., Mitikka, S., Niemelä, P., Niemi, J., Perus, J., Pietiläinen, O.-P., Pilke, A., Riihimäki, J., Rissanen, J., Tammi, J., Tolonen, K., Vehanen, T., Vuoristo, H., Westberg, V. 2006. Suomen pintavesien tyypittelyn ja ekologisen luokittelujärjestelmän perusteet. Suomen ympäristökeskus. Yliopistopaino. Helsinki.

Ympäristöhallinto 2015. Vedenlaatuluokituksen raja-arvot ja lähteet. WWW-dokumentti. www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8A7CACB5-3A30-4443-8470.../91995. Luettu 13.10.2016.

Ympäristöministeriö 2013. Suuret järvet kunnossa, rannikkovesien tila keho. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/>

FI/Ajankohtaista/Suuret_jarvet_kunnossa_rannikkovesien_ti(26643). Julkaistu 2.10.2013. Luettu 19.10.2016.

Etelä-Savon ELY-keskus 2013. Hanhilampi. Ympäristö.fi. WWW-dokumentti. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Hanhilampi\(6551\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Hanhilampi(6551)). Julkaistu 8.7.2013. Päivitetty 2.9.2013. Luettu 30.10.2016.

Ympäristö.fi. Järven rehevöityminen. WWW-dokumentti. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijöitä/Rehevoityminen. Julkaistu 24.6.2013. Päivitetty 5.7.2016. Luettu 19.10.2016.

2000/60/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY, annettu 23 lokakuuta 2000, yhteisön vesipolitiikan puitteista. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:FI:PDF>. Luettu 10.9.2016.

Fosforikuormituslaskelmat

Kuormitukset Flowtrackerilla mitattuna		pitoisuus (mg/l)*virtaama (l/s)= ainevirtaama (kg/s) ainevirtaama (kg/s)*86400= ainevirtaama (kg/vrk)	
Mittauspiste	Virtaama (l/s)	pitoisuus liuk. P. (µg/l)	pitoisuus liuk. P. (mg/l)
1	403,9	8,84	3,570476
2	427,6	11,00	4,7036
3	579,6	8,00	4,6368
4	623,9	8,23	5,134697
		ainevirtaama liuk. P. (kg/vrk)	ainevirtaama liuk. P. (kg/a)
		0,308489	112,5985
		0,406391	148,3327
		0,400620	146,2263
		0,443638	161,9279
Mittauspiste	Virtaama (l/s)	pitoisuus kok. P. (µg/l)	ainevirtaama kok. P. (kg/vrk)
1	403,9	17,08	6,898612
2	427,6	17,70	7,568520
3	579,6	15,68	9,088128
4	623,9	14,99	9,352261
		ainevirtaama kok. P. (kg/vrk)	ainevirtaama kok. P. (kg/a)
		0,596040	217,5546
		0,653920	238,6808
		0,785214	286,6032
		0,808035	294,9329
Kuormitukset VEMALAN virtaamatietojen perusteella laskettuna			
Mittauspiste	Virtaama (l/s)	pitoisuus liuk. P. (µg/l)	pitoisuus liuk. P. (mg/s)
1	194,0	8,84	1,71496
2	393,0	11,00	4,323
3	199,0	8,00	1,592
4	395,0	8,23	3,25085
		ainevirtaama liuk. P. (kg/vrk)	ainevirtaama liuk. P. (kg/a)
		0,148173	54,0830
		0,373507	136,3301
		0,137549	50,2053
		0,2808734	102,5188
Mittauspiste	Virtaama (l/s)	pitoisuus kok. P. (µg/l)	ainevirtaama kok. P. (kg/vrk)
1	194,0	17,08	3,31352
2	393,0	17,70	6,95610
3	199,0	15,68	3,12032
4	395,0	14,99	5,92105
		ainevirtaama kok. P. (kg/vrk)	ainevirtaama kok. P. (kg/a)
		0,286288	104,4952
		0,601007	219,3676
		0,269596	98,4024
		0,511579	186,7262

