

Tuija Ranta-Korhonen

HULEVESIEN LAADUN AIHEUTTAMAT RISKIT JA NIIDEN SEURANTA

- Case: Hanhijoki, Mikkeli

Opinnäytetyö

Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus (ylempi amk)

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (ylempi AMK)
Tekijä/Tekijät	Tuija Ranta-Korhonen
Työn nimi	Hulevesien laadun aiheuttamat riskit ja niiden seuranta – Case: Hanhijoki, Mikkeli
Toimeksiantaja	Mikkelin seudun ympäristöpalvelut
Vuosi	2024
Sivut	35 sivua, liitteitä 36 sivua
Työn ohjaaja(t)	Arto Sormunen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin hulevesien aiheuttamia riskejä Mikkelin kaupunkialueen läpi virtaavan Hanhijoen veden laadulle. Kaupunkialueen vettä läpäisemättömillä pinnoilla muodostuu sade- ja sulamisvesien vaikutuksesta hulevesiä, jotka huuhtovat pinnoilta mukanaan erilaisia epäpuhtauksia, kuten kiintoainesta, ravinteita ja muita yhdisteitä sekä mikromuoveja. Nämä epäpuhtaudet päätyvät vesistöihin. Hanhijoki on merkittävä Mikkelin kaupungin vedenhankinnalle. Lisäksi vesistöllä on suuri merkitys sekä maisemallisesti että virkistyskäytön kannalta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tutkia, miten jatkuvatoiminen mittaus soveltuu hulevesien aiheuttamien vedenlaadun muutosten seurantaan. Lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin, minkälaisia tietolähteitä ja -kantoja on käytettävissä sekä kuinka niiden avulla voidaan selvittää hulevesien aiheuttamaa mikromuovikuormitusta Hanhijoelle.

Opinnäytetyössä tehdyssä tutkimuksessa jatkuvatoimiset vedenlaadun mittalaitteet osoittautuivat toimiviksi Mikkelin Hanhijoen veden laadun seurannassa. Mittalaitteiden avulla saatiin selvästi näkyviin sateen ja sen myötä hulevesien vaikutus purkuvesistönä toimivan Hanhijoen veden laatuun. Lisäksi mittaustulosten avulla voitiin tutkia ensisijaisesti mitattavan suureen, eli sameuden ja toissijaisten suureiden, eli kiintoaine- ja fosforipitoisuuden välistä korrelaatiota. Opinnäytetyössä tehty laskennallinen tarkastelu tarjoaa tietoa liikenteen aiheuttamien mikromuovipäästöjen suuruusluokasta Hanhijoen valuma-alueella.

Opinnäytetyössä todettiin hulevesien aiheuttavan riskin Hanhijoen veden laadulle. Huleveden aiheuttama vesistökuormitus on jatkuvaa ja kumuloituu purkuvesistössä. Hulevesien käsittelyyn tulee tulevaisuudessa kiinnittää entistä parempaa huomiota.

Asiasanat: hulevesi, veden laatu, monitorointi

Degree title	Master of Engineering
Author (authors)	Tuija Ranta-Korhonen
Thesis title	Risk assessment and monitoring of stormwater quality – Case: Hanhijoki, Mikkeli
Commissioned by	Mikkelin seudun ympäristöpalvelut
Time	2024
Pages	35 pages, 36 pages of appendices
Supervisor	Arto Sormunen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to study the risks caused by stormwaters to the quality of the water of river Hanhijoki, which flows through the Mikkeli city area. The impermeable surfaces in urban areas allow rain and meltwaters to form stormwaters, which flush various pollutants, such as solid matter, nutrients, and other compounds, as well as microplastics from the surfaces. These pollutants end up in water bodies. The river Hanhijoki is significant for the municipal water supply of the City of Mikkeli. In addition, the river is valued for recreational purposes.

The aim of the thesis was also to study how online measurement is applied to monitoring of changes in water quality caused by stormwaters. In addition, it was assessed what types of data sources and databases are available, and how they can be used to determine the microplastic loading caused by stormwaters on the river Hanhijoki.

The online water quality measuring devices proved to work in monitoring the water quality of the river Hanhijoki in Mikkeli. With the help of the online measuring devices, the impact of rain and stormwaters on the quality of the river Hanhijoki was clearly visible. In addition, the measurement results made it possible to investigate the correlation between the primary measured parameter, i.e., turbidity and secondary parameters i.e., solids and phosphorus content. The computational analysis carried out in this study provides information on the volume of microplastic emissions caused by traffic in the catchment area of the river Hanhijoki.

As a conclusion, stormwaters pose a risk to the quality of water of the river Hanhijoki. The loading caused by the stormwaters is continuous and cumulates in the receiving water bodies. It is essential to pay attention to the treatment of stormwaters in the future.

Keywords: stormwater, quality of water, monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	OPINNÄYTETYÖN TAUSTA.....	6
2.1	Hulevesien syntyyn vaikuttavat ympäristötekijät.....	7
2.2	Hulevesien sisältämät ravinteet, kiintoaineet sekä haitta-aineet.....	8
2.3	Hulevesien vesistövaikutukset.....	13
2.4	Raja-arvot ja hulevesien laatu.....	15
2.5	Hulevesien laadun seuranta.....	17
2.6	Tulevaisuus ja suojelutoimet.....	20
3	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	21
3.1	Prosessin kuvaus ja kirjoitetut artikkelit.....	21
3.2	Artikkelien muodostama kokonaisuus - tulokset.....	22
4	TULOSTEN MERKITTÄVYYS JA HYÖDYNNETTÄVYYS.....	27
4.1	Tulostarkastelu.....	27
4.2	Johtopäätökset.....	28
	LÄHTEET.....	30

LIITTEET

Liite 1.

Jatkuvatoiminen sameusmittaus sekä kiintoaine- ja fosforipitoisuudet Mikkelin Hanhijoella

Liite 2.

Sademäärät ja jatkuvatoimiset mittaukset Mikkelin Hanhijoella

Liite 3.

Tieliikenteessä syntyvän mikromuovin määrän arviointi Hanhijoen valuma-alueella

1 JOHDANTO

Hulevesiä muodostuu taajamien vettä läpäisemättömillä pinnoilla sateen ja lumen sulamisen seurauksena. Hulevesien sisältämät epäpuhtaudet kuten kiintoaines, ravinteet, muut erilaiset yhdisteet ja mikromuovi huonontavat purkuvesistöjen veden laatua. Erityisesti kaupunkialueiden purot, lammet sekä pienikokoiset järvet, eli niin kutsutut pienvesistöt ovat kuormitukselle alttiita, sillä ne ovat monesti melko matalia ja niiden vesimäärä on pieni. Niinpä ne ovat herkkiä ympäristössään tapahtuville muutoksille. Mikkelin kaupungin alueelta löytyy runsaasti tämän kaltaisia pienvesistöjä.

Hulevesien määrän arvioidaan tulevaisuudessa lisääntyvän tiivistyvän kaupunkirakenteen ja vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alojen kasvun vaikutuksesta. Myös sademäärien on arvioitu kasvavan sekä erilaisten äärevien säätapatumien muuttuvan yleisemmiksi ilmastonmuutoksen etenemisen myötä. Hulevesien purkuvesistöille aiheuttama kuormitus tulee siis entisestään lisääntymään.

Erilaista hulevesitutkimusta on tehty runsaasti ja huleveden laadun aiheuttamista vaikutuksista purkuvesistöjen veden laatuun vallitsee hyvä käsitys. Toisin on huomattava, ettei lämpimissä ilmasto-oloissa tehdyn tutkimuksen tuloksista voida vetää suoria johtopäätöksiä meillä Suomessa vallitseviin pohjoisiin oloihin. Onkin todettu, että kylmässä ilmanalassa tehtyä hulevesitutkimusta tarvitaan lisää.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin hulevesien aiheuttamaa kuormitusta Mikkelin kaupunkialueen läpi virtaavan Seitsennimisen joen veden laadulle. Tavoitteena oli tutkia miten erilaiset monitorointi- ja kartoituskeinot soveltuvat tutkimukseen ja minkälaisia tietolähteitä ja -kantoja on käytettävissä, sekä kuinka niiden avulla voidaan selvittää hulevesien aiheuttamaa kuormitusta kaupunkialueen pienvesistöille. Hanhijoki valikoitui tutkimuskohteeksi, koska se on merkittävä sekä Mikkelin kaupungin vedenhankinnan, että kaupunkikuvan ja virkistyskäytön kannalta. Opinnäytetyössä tarkasteltavat tutkimuskysymykset ovat 1. Miten hulevesi vaikuttaa Hanhijoen veden laatuun? ja 2. Miten toimivia

jatkuvatoimiset mittaukset ovat huleveden aiheuttamien veden laadun muutosten seurannassa?

2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA

Vuonna 2022 julkaistun Etelä-Savon vesienhoidon toimenpideohjelman mukaan 98 % alueen järvistä on ekologiselta tilaltaan hyvä tai erinomainen. Joki-tilanne on hieman huonompi, mutta niistäkin 79 % on hyvässä tai erinomaisessa ekologisessa tilassa. (Kotanen ym. 2022.) Suomen ympäristökeskuksen ja ELY-keskusten ylläpitämän vesikartan mukaan Mikkelin alapuolinen Saimaa (Annilanselkä - Kyyhkylänselkä) on ekologiselta tilaltaan kuitenkin ainoastaan tyydyttävässä kunnossa (Vesikartta s.a.). Tässä myös Mikkelin kaupunkialueella syntyvillä hulevesillä on oma osansa.

Myös kaupunkialueella sijaitsevat pienemmät vesimuodostumat, jotka purkautuvat Saimaaseen, kärsivät hulevesien aiheuttamasta kuormituksesta. Seitsemennimisen joen valuma-alueella erityisesti Pankalampi kärsii hulevesikuormituksesta ja veden laadun on yleisemminkin todettu huononevan alajuoksulle päin. (Palomäki ym. 2021, 19; Kosonen ym. 2021, 11; Rautio 2021, 54.)

Tässä työssä case-tarkastelukohteena oli Seitsemennimisen joen Hanhijoeksi nimetty osuus. Seitsemennimisen joen valuma-alue on pinta-alaltaan noin 63 km² ja jokeen päätyy hulevesien useilta kaupunkialueilta (Kosonen ym. 2021, 10).

Hanhijoen veden laadulla on merkitystä Mikkelin kaupungin vedenhankinnan kannalta, sillä Hanhikankaalla sijaitsee kaupungin toinen vedenottamo. Mallituksen mukaan hulevedet ovat toiseksi suurin fosforikuormituksen lähde Hanhilammen valuma-alueella, johon Hanhijokikin siis kuuluu. Hanhilammessa on havaittu laatupoikkeamia etenkin kevään ylivirtaamakaudella, kun sulamisvesiä on paljon liikkeellä sekä loppukesän alivirtaaman aikana, jolloin vettä on joessa vähän ja yksittäisen sadetapahtuman aikana syntyvän huleveden ainepitoisuudet voivat olla korkeita. (Rautio 2021, 57.)

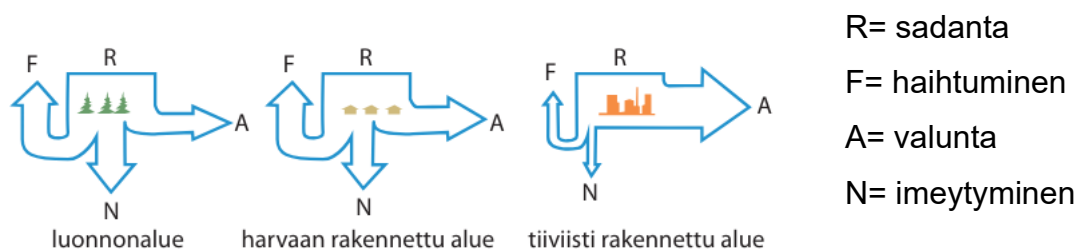
Määritelmän mukaan hulevesi on sade- ja sulamisvettä, sekä rakennetun alueen kuivatusvettä, joka johdetaan pois katu- ja piha-alueilta (Vesitieto 2019). Vuonna 2014 päivitettyssä maankäyttö- ja rakennuslain luvussa 13 annetaan hulevesiä koskevia erityisiä säännöksiä. Lain mukaan hulevesien hallinnan

yleisiä tavoitteita ovat muun muassa asemakaava-alueiden hulevesien suunnitelmallisen hallinnan kehittäminen sekä hulevesien aiheuttamien ympäristöhaittojen ehkäiseminen. (Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 17.1.2014/682, 13. §.)

Euroopan tasolla hulevesiä ja niiden hallintaa koskevaa lainsäädäntöä löytyy Vesipuidirektiivistä (EU) 2000/60 ja Tulvadirektiivistä (EU) 2007/60. Vesipuidirektiivin tarkoituksena on suojella kaikkia vesistöjä ja taata niiden hyvä ekologinen ja kemiallinen tila. Molemmat direktiivit huomioivat myös ilmastonmuutoksen vaikutukset. Vesidirektiivin tavoitteita suojella pintavesiä on viety hulevesien osalta kansallisella tasolla käytäntöön vaihtelevin tavoin. (Jensen ym. 2020.)

2.1 Hulevesien syntyyn vaikuttavat ympäristötekijät

Veden kiertokulku jaetaan neljään osaan, joita ovat sadanta, valunta, haihdunta sekä suotautuminen maaperään. Luonnonmukaisessa kiertokulussa suurin osa sadannasta imeytyy maaperään tai haihtuu. Myös kasvillisuudella on merkittävä vaikutus vedenkiertokulkuun, sillä kasvit käyttävät vettä elintoiminnissaan ja samalla haihduttavat vettä. Puiden lehvästöt pidättävät myös osan sateesta, niin ettei se koskaan pääse maahan asti. (Zhang ym. 2023.) Kaupungistuminen muuttaa veden luontaista kiertokulkua (Hulevesiopas 2012, 10). Taajama-alueilla sadanta voi lisääntyä jopa 5–10 % luonnontilaisiin alueisiin verrattuna. Lisäksi haihdunta on vähäisempää muun muassa puuttuvan kasvillisuuden vuoksi (Hulevesiopas 2012, 18.) Kuvassa 1 on nähtävissä sadannan, valunnan, haihdunnan ja imeytymisen välinen suhde maankäytöltään erityyppisillä alueilla.



Kuva 1. Veden kiertokulku maankäytöltään erilaisilla alueilla (RT 103006, 2018)

Taajama-alueilla suurin veden kiertokulkuun vaikuttavat tekijä on vettä läpäisemättömien pintojen, kuten katujen, päällystettyjen piha- ja pysäköintialueiden sekä kattopinta-alan suuri määrä (Hulevesiopas 2012, 18). Lisäksi kaupunkialueen maaston muodot yleensä tasataan rakentamisen yhteydessä, mikä aiheuttaa sen, että kaupungissa ei juurikaan ole painaumia, joihin vesi voisi sateella kertyä. Samalla vesien kulkureittejä on perattu ja oikaistu ja vedet ohjataan pois kaupunkialueelta hulevesiviemärien ja ojien avulla. (Ilmasto-kestävän kaupungin suunnitteluopas s.a.) Kaupungistuminen on aikamme megatrendi, joka johtaa rakennettujen alueiden tiivistymiseen, liikenteen lisääntymiseen sekä samalla vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alan kasvuun (Taka ym. 2017).

Sateisuuden odotetaan lisääntyvän ilmastonmuutoksen etenemisen myötä. Ilmatieteenlaitoksen vuonna 2022 päivittämän Suomen ilmastonmuutosennusteen mukaan sademäärät tulevat todennäköisesti kasvamaan talvella noin 15 % ja loppukesällä noin 5 % (Suomen ilmastoennusteet on päivitetty 2022). Sademäärien kasvun lisäksi odotettavissa on rankkasateiden määrän lisääntyminen ja voimistuminen (Pilli-Sihvola ym. 2023, 35). Samalla kaupungistumisen voimistuminen aiheuttaa muutoksia vedenkierrossa. (Khadka ym. 2020). Edellä mainitut tekijät aikaansaavat voimakasta pintavalunnan kasvua ja merkittäviä hulevesien virtaamapiikkejä (Taka ym. 2017). Tämä puolestaan aiheuttaa entistä suurempaa kuormitusta kaupunkivesistöille. Ympäristöministeriön vuonna 2015 julkaisemassa Pienvesien suojelu ja kunnostusstrategiassa todetaankin, että kaupunkialueiden pienvedet tulee ottaa kaavoituksessa aiempaa paremmin huomioon ja pienvesien valuma-alueilla tulee toteuttaa toimenpiteitä, jotka kompensoivat rakennetun ympäristön aiheuttamaa vesistöjen kuormitusta (Hämäläinen 2015, 30).

2.2 Hulevesien sisältämät ravinteet, kiintoaines sekä haitta-aineet

Taajamien maankäytöllä on todettu olevan vaikutusta hulevesien laatuun ja niissä esiintyviin haitta-aineisiin. Asuinalueilta kertyvissä hulevesissä on tyypillisesti runsaammin bakteereita ja ravinteita, kun taas teollisuus- ja liikennealueilta hulevesiin päätyy enemmän metalleja. (Vahtera & Lahti 2016, 4.) Pientaloalueilla muodostuu vähemmän hulevesiä kuin tiuhaan rakennetulla kes-

kusta-alueella tai liikennealueilla. Hulevesien laatuun vaikuttavat myös valuma-alueiden luontaiset ominaisuudet, esimerkiksi maaperän laatu ja siihen liittyvä vedenimeytyskyky, alueen topografia sekä kasvillisuuden laatu ja määrä. (Valtanen ym. 2023, 16.) Merkittävä hulevesiin kuormitusta aiheuttava tekijä ovat rakennustyömaat, joiden vedenhallintaan tulisikin kiinnittää entistä paremmin huomiota. Lisäksi uusien alueiden aiheuttama kuormitus on tavallista suurempi, johtuen niiden kasvillisuuden vähäisyydestä ja siitä, että maaperä on vastamuokattua. (Ilmastokestävän kaupungin suunnitteluopas s.a.)

Hulevesien sisältämät epäpuhtaudet päätyvät veteen montaa eri reittiä. Epäpuhtauksia kertyy taajama-alueen pinnoille sekä märkälaskeutumana että kuivalaskeutumana. Märkälaskeuma tarkoittaa sadeveden mukana kulkeutuvia liuenneita tai partikkeleihin sitoutuneita yhdisteitä. Kuivalaskeuma puolestaan tarkoittaa kaasuyhdisteiden tai hiukkasten kulkeutumista ja suoraa adsorptiota erilaisille pinnoille. Nämä pinnoille adsorptoituneet yhdisteet päätyvät sateella osaksi hulevesihuuhtoumaa. (Forsius 1987, 11.) Lisäksi erilaisille taajama-alueen pinnoille kertyneet aineet ja yhdisteet (esimerkiksi kiintoaine- tai muovipartikkelit) huuhtoutuvat sateella pintavalunnan mukana eteenpäin. Myös erilaiset ionit kertyvät helposti sadeveteen. (Göbel ym. 2006.) Muita päästölähteitä ovat esimerkiksi liikenteen pakokaasut, ajoneuvojen ja erilaisten rakennusmateriaalien korrosio, sekä talviaikaiseen liukkaudentorjuntaan käytetty tiesuola (Hulevesiopas 2012, 124). Taulukossa 1 on esitelty erilaisia hulevesien sisältämiä haitta-aineita ja niiden tyypillisiä päästölähteitä.

Taulukko 1. Tyypillisimpiä hulevesien haitta-aineita ja niiden päästölähteet (mukaillen Valtanen ym. 2023, 13)

Haitta-aine	Päästölähde
Tyypiyhdisteet	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio, lannoitteet
Fosforiyhdisteet	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio, lannoitteet
Kiintoaines	Ilmalaskeuma, liikenne, eroosio
Mikromuovit	Liikenne, roskat, rakennusmateriaalit, materiaalien kuluminen
Kloridi	Ilmalaskeuma, liikenne, liukkaudentorjunta
Sulfaatti	Ilmalaskeuma, liikenne
Metallit	Ilmalaskeuma, liikenne, teollisuus, rakennusmateriaalit

Hulevesien tyyppi on yleensä peräisin erilaisista polttoprosesseista tai liikenteestä. Tyypeä haihtuu myös luonnostaan maaperästä ja ilmakehään sitä päätyy myös erilaisista torjunta-aineista, eläinten jätöksistä sekä kasveista. (Valtanan ym.2010, 5–6; Hulevesiopas 2012, 126.) Fosfori puolestaan on peräisin viheralueilta tai pihoilta. Myös erilaiset eläinten jätökset tai jätevesipäästöt sisältävät runsaasti fosforia. On havaittu, että suurin osa fosforista on maaperäpartikkeleihin eli kiintoainekseen kiinnittyneenä ja ainoastaan pieni osa esiintyy liukoisessa muodossa. (Hulevesiopas 2012, 126; Valtanen ym. 2023, 6.) Hulevesien ravinteilla voi olla merkittävä purkuvesistöjä rehevöittävä vaikutus, etenkin mikäli vesistö on vesitilavuudeltaan pieni ja hulevedet johdetaan vesistöön käsittelemättöminä.

Kiintoaineksen määrä on hyvä hulevesien laadun indikaattori, sillä suuri osa huleveden sisältämistä haitta-aineista on sitoutunut kiintoainepartikkeleihin. Kiintoaines voi sisältää muun muassa ravinteita, metalleja tai mikromuovipartikkeleja. (Hulevesiopas 2012, 124; Valtanen ym. 2023, 20.) Kiintoaines itsessään aiheuttaa vesien samentumista ja laskeutuessaan purkuvesistön pohjaan myös pohja-alueiden liettymistä (Hulevesiopas 2012, 124). Toisaalta kiintoainesta on mahdollista poistaa hulevesistä melko yksinkertaisilla ratkaisuilla, kuten esimerkiksi laskeuttamalla. Kiintoaineksen poistamisen myötä hulevesistä poistuu myös suuri osa haitallista aineista (Valtanan ym. 2023, 10). Vedden sameuden ja kiintoainepitoisuuden välillä on yleensä vahva korrelaatio, sillä sameus johtuu vedessä olevista partikkeleista.

Mikromuovit ovat melko uusi tulokas hulevesien sisältämien haitallisten aineiden luettelossa. Määritelmän mukaan mikromuoveiksi luetaan kiinteät läpimitaltaan 1 µm – 5 mm olevat hiukkaset tai kuidut. Ne koostuvat erilaisista polymeereistä ja niiden side- ja lisäaineista. (Valtanan ym. 2023, 10.) Mikromuovit jaetaan yleensä kolmeen eri luokkaan riippuen niiden alkuperästä. Primääriset mikromuovit ovat muun muassa hygieniatuotteisiin lisätyt muovirakeet ja vaatteissa käytetyt muovikuidut. Sekundaariset mikromuovit puolestaan koostuvat hajonneista muovituotteista ja muovirokista, jotka hiljalleen jauhautuvat pienemmiksi partikkeleiksi esimerkiksi mekaanisen kulumisen seurauksena.

Myös autonrenkaista ja tiemerkinnoista irtoavat kumi- ja muovipartikkelit luetetaan tähän ryhmään. Kolmannen luokan muodostavat erilaiset synteettiset polymeerien lisäaineet. (Österlund ym. 2023.)

Kloridi ja sulfaatti esiintyvät hulevesissä epäorgaanisina ioneina. Hulevesien kloridi on peräisin natriumkloridista, joka puolestaan on yleisin tiealueiden liukaudentorjunnassa käytetty yhdiste. Kloridi on liukoista, eikä sen vuoksi pidäty maaperään vaan päätyy huleveden mukana pinta- ja pohjavesiin. (Kyllönen 2017, 10.) Kloridilla on todettu myös lisäävän metallien liukoisuutta ja kiihdyttävän materiaalien korroosiota, mikä puolestaan lisää hulevesien metallipitoisuutta etenkin talviaikaan. Lisäksi sen on todettu tutkimuksissa vaikuttavan kiintoaineen määrään sen ionimuodon ja partikkelinmuodostuskyvyn vuoksi. (Westerlund 2007, 31.) Sulfaattia pääsy hulevesiin kaukokulkeutumana tai esimerkiksi rikkiä sisältävien mineraalien rapautuessa. Myös lannoitteet, yhdyskuntien jätevedet ja kaivosteollisuuden jätevedet sisältävät sulfaattia. (Vahtera & Lahti 2016, 16.)

Metallit esiintyvät hulevedessä joko liukoisina tai kiinteässä olomuodossa, sitoutuneena esimerkiksi kiintoainepartikkeleihin. Ne voivat muuttua kiinteästä olomuodosta liukoiseksi olosuhteiden, esimerkiksi pH:n muuttuessa. (Taka ym. 2022; Vahtera & Lahti 2016, 31.) Monet metalleista, kuten kadmium, kupari tai lyijy, ovat haitallisia ympäristölle ja liukoisessa, biosaatavassa muodossa ne ovat myrkyllisiä vesieliöstölle (Vahtera & Lahti 2016, 31). Metallien määrän on tutkimuksissa todettu korreloivan vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alojen kanssa. Esimerkiksi Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan keskusta-alueilla, joiden pinta-alasta 89 % on vettä läpäisemättömien pintojen peitossa, on huleveden alumiinipitoisuuden todettu olevan yli yhdeksänkertainen verrattuna pientaloalueeseen, jolla vettä läpäisemättömien pintojen osuus on ainoastaan 19 %. Kuparin osalta keskusta-alueen hulevesien pitoisuus on lähes seitsenkertainen omakotialueeseen verrattuna. (Valtanen ym. 2023, 22.) Kun taas kaupunkialueita on verrattu täysin rakentamattomiin alueisiin, on todettu kuparin ja sinkin määrän valumavesissä olevan rakennetuilla alueilla lähes 90 kertainen. Hulevesien sisältämien metallien haitallisuuteen vaikuttaa osaltaan se, että niiden pitoisuudet ovat korkeimmillaan talvella etenkin kokonaispitoisuuksien osalta. Tämä korostaa talviaikaisen hulevesien hallinnan tärkeyttä. (Valtanen ym. 2010.)

Hulevesien sisältämät öljyhiilivedyt ovat peräisin erilaisilta liikennealueilta. Ajoneuvot ja liikennealueet ovatkin kaupunkioiloissa merkittävä päästölähde, sillä erilaisten poltto- ja voiteluainepäästöjen lisäksi polttoaineen palamisessa muodostuu nokea ja PAH-yhdisteitä (PAH= Polysykliset Aromaattiset Hiilivedyt). (Nyström ym. 2020.) Ajoneuvot ja tiemerkinnot muodostavat myös metallien ja mikromuovipartikkelien päästölähteen.

Hulevesissä tapahtuu jatkuvasti erilaisia kemiallisia, biologisia ja fysikaalisia reaktioita. Hulevesien pH, sähkönjohtavuus tai veden lämpötila vaikuttavat veden sisältämien aineiden olomuotoon. Vedessä olevien aineiden määrä ja laatu puolestaan vaikuttavat edellä mainittuihin tekijöihin. Hulevesi on siis jatkuvassa muutostilassa sekä omien ominaisuuksiensa että ympäristön eri tekijöiden vaikutuksesta.

Helsingissä vuonna 2014 tehdyssä hulevesien laatua kartoittavassa tutkimuksessa hulevesien pH:n keskiarvon havaittiin olevan 7,2–7,3, eli melko lähellä veden normaalia pH:ta (Airola ym. 2014, 40). Myös Mikkelissä vuosina 2021–2022 tehdyssä hulevesitutkimuksessa veden pH:n todettiin olevan samaa luokkaa, lisäksi huleveden pH:n arvo nousi selvästi tutkitussa hulevesirakenteessa (Mykkänen ym. 2022, 60). Vaikka sadevesi voi olla hieman hapanta, on huleveden pH erilaisten maa-ainesten ja kaupunkien rakennusmateriaalien vaikutuksesta tyypillisesti lähellä neutraalia (Nurmi 2001, 6). Toisaalta tietyt yhdisteet, kuten esimerkiksi polttoprosessissa vapautuvat rikin tai typen oksidit aiheuttavat veden happamoitumista, mikä puolestaan voi vaikuttaa esimerkiksi veden sisältämien metallien liukoisuuteen. (Göbel ym. 2006; Duncan 1999, 27.)

Veden sähkönjohtokyky indikoi vedessä liuenneina olevien ionien määrää. Kaupunkialueilla huleveden johtokyvyn muutokset ovat suurimmalta osin seurausta liukkaudentorjunnassa käytetystä tiesuolasta. Hulevesien sähkönjohtokyky on tyypillisesti korkein lumien sulamisen aikaan ja laimentuu vuodentakien edetessä. (Westerlund 2007, 8.) On kuitenkin myös havaintoja, joiden mukaan tiesuolan aiheuttama kuormitus jatkuu myös kesäaikaan. Tämän on arveltu johtuvan siitä, että suola varastoituu maakerrokseen ja vapautuu niistä erityisesti rankkasateiden aikaan. (Benjankar ym. 2021.)

2.3 Hulevesien vesistövaikutukset

Monet hulevesien sisältämät aineet kuten ravinteet ja kiintoaine eivät sinällään ole haitallisia. Koska hulevesien purkuvesistöille aiheuttama kuormitus on kuitenkin jatkuvaa ja kumuloituvaa, voivat nämäkin sinällään vaarattomat aineet heikentää vesistön tilaa. Kiintoaineen on esimerkiksi todettu aiheuttavan veden samentumista, mikä puolestaan vähentää valon tunkeutumista vesistöjen pintakerrokseen ja siten huonontaa vesikasvien kasvuolosuhteita. Kiintoainehiukkaset voivat myös vahingoittaa kalojen kiduksia tai sen aiheuttama pohjan liettyminen huonontaa pohjaeläinten tai kalanpoikasten elinolosuhteita. (Valtanen ym. 2023, 36.) Teitten liukkaudentorjunnassa talviaikaan käytetyn tiesuolan on todettu vaikuttavan vastaanottavan vesistön lajirikkauteen ja luonnon monimuotoisuuteen (Benjankar ym. 2021).

Hulevesien vaikutukset pintavesien vedenlaatuun voidaan jakaa akuutteihin ja kroonisiin vaikutuksiin. Akuuttina vaikutuksena voidaan pitää esimerkiksi rankkasateella syntyvän hulevesivalunnan sisältämän kiintoaineksen aiheuttamaa lyhytkestoista veden samentumista, tai liukoisen haitta-aineen hetkellistä kuormituspiikkiä. Akuutille vaikutukselle on tyypillistä, että se menee ohi melko nopeasti, minkä jälkeen vesistön tila palautuu ennalleen. (Valtanen ym. 2023, 34; Hulevesiopas 2012, 132.)

Krooniset vaikutukset veden laatuun muodostuvat puolestaan vähitellen. Esimerkiksi huleveden sisältämä kiintoaine ja siihen kiinnittyneenä olevat haitalliset aineet voivat laskeutua vesistön pohjalle ja sedimentoitua. Tällöin ne pohjan liettymisen lisäksi voivat muodostaa pitkäaikaisen vesistön sisäisen kuormituksen lähteen. (Valtanen ym. 2023, 35; Hulevesiopas 2012, 133.) Myös hitaasti etenevä purkuvesistön rehevöityminen on tyypillinen hulevesien aiheuttama muutos. Rehevöityminen puolestaan muuttaa vesistön ominaispiirteitä sekä sen lajistoa. (Ympäristö 2023.)

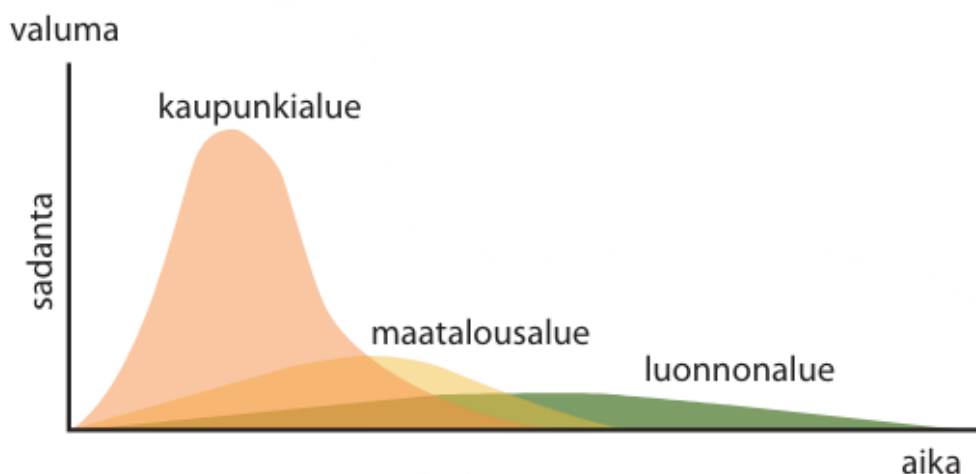
Purkuvesistön koko ja muut ominaispiirteet vaikuttavat hulevesien aikaansaamien veden laatuvaikutusten merkittävyyteen ja keston. Suuret vesistöt eivät tyypillisesti ole niin herkkiä, kuin pienvesistöt, sillä niiden vesimäärä on suu-

rempi. Myös veden viipymällä on merkittävä vaikutus, sillä pitkä viipymä vähentää veden vaihtuvuutta ja heikentää samalla hulevesipäästön sekoittamista ja laimenemista. (Valtanen ym. 2023, 33.) Pienvesistöissä, kuten puroissa, voivat hulevedet aiheuttaa yllättäviäkin vaikutuksia. Esimerkiksi kesäaikaiset kuumalla säällä tapahtuvat rankat sateet voivat nostaa vesistön veden lämpötilaa. Tämä voi puolestaan vähentää veden happipitoisuutta ja kiihdyttää levien kasvua. (Hulevesiopas 2012, 134.)

Kevään lumensulamiskaudella syntyvien hulevesien on todettu sisältävän merkittävän osuuden vuotuisesta haitta-ainekuormasta. Talviaikaan erilaiset polttoaineista johtuvat päästöt ovat suurempia ja liukkauden torjunta aiheuttaa kloridin pitoisuuden kasvua, mikä puolestaan vaikuttaa autojen metallien korroosion lisääntymiseen. Lisäksi lumen poisto ja nastarenkaat lisäävät tienpinnojen kulumista. Myös teiden ja jalkakäytävien hiekoitus lisää kiintoainespäästöjä. Kaikki nämä päästöt varastoituvat lumeen. (Valtanen ym. 2023, 30; Hulevesiopas 2012, 131.) Lumen poistaminen kaupunkialueelta ja siirtäminen lumenkaatopaikalle vähentää kaupunkialueen talviaikaisten päästöjen vaikutusta hulevesien laatuun. Lumenkaatopaikat muodostavat kuitenkin pistelähteen, joiden sulamisvesillä on suuri vaikutus lähivesien tilaan. Toisaalta piste-kuormitusta on hajakuormitukseen verrattuna helpompi hallita. (Valtanen ym. 2023, 31.)

Hulevesien aiheuttamassa vesistökuormituksessa merkittävänä tekijänä pidetään ensihuuhtoumaa. Ensihuuhtoumalla tarkoitetaan sitä, että sadetapahtuman alussa muodostuvien hulevesien haitta-aineiden pitoisuudet tai kokonaismäärä ovat korkeampia verrattuna sadetapahtuman myöhempinä hetkinä muodostuviin hulevesiin (Perera ym. 2019). Ensihuuhtouman olemassaolosta ja määrittelystä on käyty jonkin verran keskustelua, mutta ensihuuhtouman käsitettä on hyödynnetty muun muassa suunniteltaessa erilaisia hulevesien käsitteilyratkaisuja (Gao ym. 2023; Perera ym. 2019). Ensihuuhtoumaan vaikuttavat esimerkiksi hulevesien muodostumisalueen koko ja vettä läpäisemättömän pinnan määrä alueella, sateen intensiteetti, sekä sadetta edeltävä säätila. On esitetty, että vähäsateisen ja kuivan ajanjakson jälkeen syntyvien hulevesien sisältämä ensihuuhtouma on erityisen merkittävä vesistöjen kuormittaja. (Lee ym. 2002.) Kuvassa 2 on esitetty maankäytön vaikutus valumaan ja valuman ajalliseen syntyymiseen erityyppisillä maankäytön alueilla. Kuvassa nähdään,

kuinka kaupunkialueella valuma muodostuu heti sateen alussa, kun taas vähemmän käsitellyillä alueilla valumaa muodostuu melko tasaisesti koko sadetapahtuman ajan.



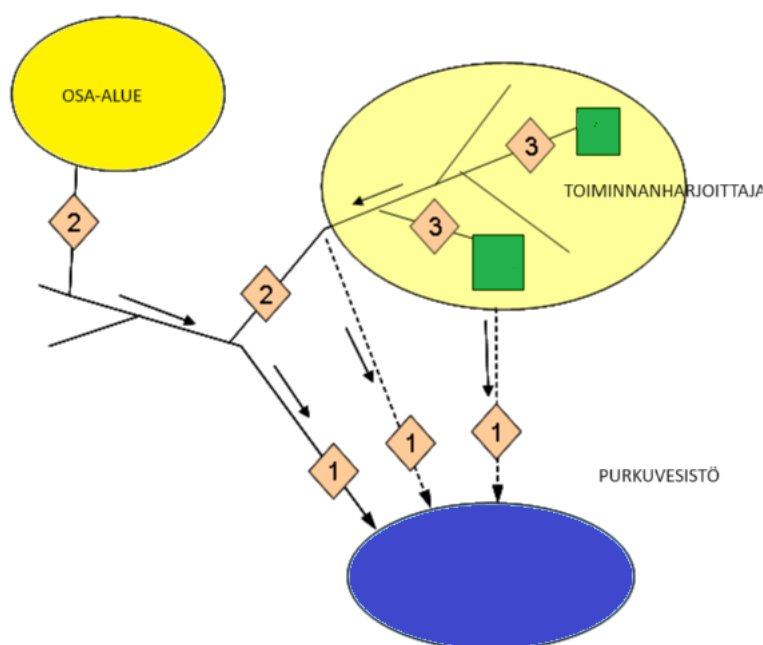
Kuva 2. Maankäytön vaikutus hulevesien muodostumiseen (RT 103006: 2018)

Yksittäisestä sadetapahtumasta syntyvien hulevesien vaikutusta vastaanottavan vesistön vedenlaatuun voidaan arvioida keskimääräisen tapahtumapitoisuuden avulla. Keskimääräinen tapahtumapitoisuus (EMC= Event Mean Concentration) ilmoitetaan tyypillisesti yksikössä mg/l tai µg/l ja se voidaan määrittää tietyn valumatapahtuman aikana otetusta kokoomanäytteestä tai sitten useammasta valumatapahtuman aikana otetun näytteen keskiarvona. Mikäli pitoisuus määritetään osanäytteiden keskiarvona, on sen osanäytteiden analyysituloksia painotettava näytteenottohetken valunnan määrällä. Keskimääräisen tapahtumapitoisuuden avulla on mahdollista vertailla eri ajankohtien sadetapahtumien vaikutuksia keskenään. (Hulevesiopas 2012, 9.)

2.4 Raja-arvot ja hulevesien laatu

Hulevesissä esiintyvien aineiden pitoisuuksille ei ole Suomessa määritelty raja-arvoja. Tämän takia tutkimuksissa ja vedenlaadun kartoituksissa monesti hyödynnetään esimerkiksi valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (Valtioneuvoston asetus 23.11.2006/1022) annettuja päästöraja-arvoja ja ympäristölaatonormeja. Monesti suomalaisissa tutkimuksissa käytetään myös Tukholman läänin maakäräjien julkaisemia hulevesien ohjearvoja. (Valtanen 2023, 42.)

Tukholman läänin maakäräjien julkaisemassa ehdotuksessa hulevesien ohjearvoille on annettu kolme eri tasoa riippuen siitä, missä kohtaa valuma-alueelta hulevesi muodostuu. Lisäksi jokaisella tasolla on vielä kaksi alatasoa, jotka määritellään suhteessa purkuvesistön kokoon. Tasolla 1 tarkoitetaan suoraan päästöä purkuvesistöön, jolloin taso 1M tarkoittaa suoraan päästöä pienvesistöihin tai esimerkiksi merenlahtiin ja 1S puolestaan päästöä suurempiin järviin ja mereen. Tasolla 2 puolestaan tarkoitetaan valuma-alueen osa-alueella syntyvää hulevettä. Myös taso 2 on jaettu kahteen alatasoon purkuvesistön koon mukaan (2M ja 2S). Kolmas taso on tarkoitettu toiminnanharjoittajien noudatettavaksi. (Riktsvärdesgruppen 2009, 11.) Kuvassa 3 on esitetty kaavamaisesti edellä mainitut tasot.



Kuva 3. Hulevesien raja-arvoille määritellyt tasot (mukaillen Riktsvärdesgruppen 2009, 8)

Eri tasojen raja-arvoista saa hyvän käsityksen tarkastelemalla esimerkiksi taulukossa 2 esitettyjä raja-arvoja kiintoainekselle ja ravinteille. Taulukosta käy hyvin selville valuma-alueen eri kohdissa syntyvien hulevesien laadulle määritellyt raja-arvot ja niiden välinen suhde. Mitä lähempänä vastaanottavaa vesistöä hulevesi muodostuu, sen parempilaatuista sen tulisi olla ennen vesistöön johtamista.

Taulukko 2. Esimerkkejä valuma-alueen eri kohdissa muodostuville hulevesille annetuista raja-arvoista (mukaillen Riktvärdesgruppen 2009, 11)

Haitta-aine	Yksikkö	Pienet vesistöt (1M / 2M)	Suuret vesistöt (1S / 2S)	Toiminnanharjoittaja (3)
Fosfori	µg/l	160 / 170	200 / 250	250
Typpi	mg/l	2,0 / 2,5	2,5 / 3,0	3,5
Kiintoaines	mg/l	40 / 60	50 / 75	100

Vaikka Suomesta sitovat raja-arvot puuttuvat, voidaan hulevesille asetetut laadutavoitteet määrittää vastaanottavan vesistön tyypillisten pitoisuuksien mukaan. Lisäksi on huomioitava laajemmin vastaanottavan vesistön tila, eli jos vesistö on jo valmiiksi kuormittunut ja sen vedenlaatu ei ole hyvällä tasolla, tulee hulevesien laatuun kiinnittää erityistä huomiota. (Valtanen ym. 2023, 42.)

2.5 Hulevesien laadun seuranta

Hulevesien laatu vaihtelee merkittävästi muodostumisalueen maankäytöstä ja sateen intensiteetistä ja kestosta riippuen. Lisäksi yksittäisen sadetapahtuman sisällä hulevesien laatu vaihtelee, alkaen ensihuuhtouman korkeammista pitoisuuksista niiden vähittäiseen laimenemiseen. Nämä laadunvaihtelut ja niiden riippuvuus ajasta aiheuttavat sen, että yksittäisten vesinäytteenottojen avulla on melko mahdotonta saada kokonaiskäsitystä hulevesien laadusta. (Razguliaev ym. 2024; Perera ym. 2019.) Tässä ovatkin erinomaisena apuna jatkuvatoimiset vedenlaadun mittalaitteet.

Tyypillisiä jatkuvatoimisilla mittalaitteilla mitattuja parametrejä ovat sähkönjohtavuus ja sameus. Monesti mitataan lisäksi pH:ta, liuennan hapen määrää, sekä liuennan orgaanisen aineksen pitoisuutta (fDOM). Lisäksi monissa mittalaitteissa on mahdollista käyttää ioniselektiivisiä antureita, joiden avulla voidaan mitata muun muassa veden tyypipitoisuutta. (Razguliaev ym. 2024.)

Mikkelissä tehdyssä hulevesitutkimuksissa käytettiin kahta automaattista vesistösondia, jotka mittasivat jatkuvatoimisesti veden lämpötilaa, sameutta, johdokkyä, pH:ta sekä ilmoittivat laskennallisen liuennan orgaanisen aineksen määrän vedessä. Vesistösondit oli sijoitettu hulevesirakenteen tulo- ja poistopuolelle, ja niiden avulla tarkasteltiin huleveden laadun muutosta hulevesirakenteessa. (Ranta-Korhonen ym. 2022, 27.)

Edellisessä kappaleessa mainittujen ”suoraan” mitattujen parametrien lisäksi jatkuvatoimisia vedenlaadunmittareita on käytetty mittaamaan epäsuorasti huleveden muita laatuparametreja. Esimerkiksi sameuden ja kiintoaineen määrän välistä korrelaatiota pidetään hyvin vahvana. Samalla monet huleveden sisältämät epäpuhtaudet ovat sitoutuneet kiintoaineeseen, minkä vuoksi sameuden voidaan ajatella indikoivan myös niiden määriä hulevesissä. (Razguliaev ym. 2024.) On todettu, että etenkin savimaiden vesistöissä sameuden ja kiintoainepitoisuuden sekä toisaalta kokonaisfosforin välillä on vahva korrelaatio. (Tattari ym. 2019, 32).

Tämänkaltaista jatkuvatoimisten mittausten ja analysoitujen laatuparametrien välistä korrelaatiota voidaan kuitenkin harvoin hyödyntää suoraan (Tattari ym. 2019, 33). Toisin sanoen on huomioitava, ettei esimerkiksi sameus-kiintoainekorrelaatio ole vakio, vaan se vaihtelee esimerkiksi mittauspaikasta ja -ajankohdasta riippuen (Razguliaev ym. 2024). Merkittävää on myös se, että tämänkaltainen lähestymistapa vaatii jatkuvaa automaattisen mittausdatan ja vesinäytteiden analyysitulosten välisen korrelaatioyhtälön kalibrointia (Tattari ym. 2019, 34).

Myös veden sähkönjohtavuuden arvon ja suola(kloridi)pitoisuuden välillä on havaittu olevan vahva korrelaatio. Tätä onkin hyödynnetty esimerkiksi tiesuolauksen luonnonvesille aiheuttaman kuormituksen määrittämisessä. (Benjanakar ym. 2021.) Sähkönjohtavuutta on myös hyödynnetty jonkin hydrologisen tapahtuman keston määrittämisessä. Mitattua fDOM-arvoa on puolestaan joissain tutkimuksissa käytettyä indikoimaan veteen liunneen orgaanisen hiilen määrää (DOC) ja veden lämpötilaa puolestaan määrittämään veteen liunneen hapen (DO) määrää. (Regier ym. 2020.)

Kaikkien näiden toissijaisten parametrien käyttö vaatii aina kuitenkin pitkäkestoisia automaattisia mittauksia sekä useita vesinäytteenottoja ja näytteistä tehtäviä analyysejä. Niiden avulla voidaan muodostaa kokonaiskuva muuttujien keskinäisistä suhteista. On kuitenkin huomattava, että liian suoraa automaattisten mittaustulosten käyttöä selittämään toisen muuttujan pitoisuuksia tai pitoisuuden vaihtelua on syytä välttää. Lisäksi korrelaatiomalli on aina kalibroitava mittauspaikan mukaan. Vuonna 2024 tehdyn automaattisen kenttämittauksen toimivuutta ja menetelmiä kartoittaneen tutkimuksen mukaan myös

itse mittalaitetekniikka vaatii parantamista. Mittausdatan laadulle ehdoton edellytys on myös mittalaitteiden oikein tehty kalibrointi sekä kentällä tapahtuva riittävän tiheä antureiden mittapäiden puhdistaminen. (Razguliaev ym. 2024.)

Automaattisten vedenlaatumittareiden ja perinteisen kertanäytteenoton lisäksi voidaan hyödyntää myös automaattisia näytteenottimia. Näiden avulla on mahdollista ottaa esimerkiksi kokoomanäyte tietyltä ajanjaksolta tai useita tietyn kokoisia näytteitä määrävälein. Automaattisen näytteenottimien avulla on mahdollista esimerkiksi selvittää kiintoaine- tai ravinnekuormituksen kehittymistä tietyn sadetapahtuman aikana. (Mykkänen ym. 2022, 52.) Automaattisen näytteenottimen yhdistäminen virtausmittaukseen mahdollistaa näytteenoton virtauksen kasvaessa eli sateen aikana. Tällöin näyte on syytä ottaa kokoomanäytteenä pitemmältä ajanjaksolta, jotta ensihuuhtouman korkeammat haitta-ainepitoisuudet eivät vääristä näytteestä analysoitavia tuloksia. (Sainio 2023, 49.)

Hulevesien sisältämät epäpuhtaudet yhdessä hulevesien virtaaman (määrän) kanssa muodostavat purkuvesistöille aiheutuvan kokonaiskuormituksen. Myös virtaamia voidaan mitata jatkuvatoimisesti. Esimerkiksi Mikkelissä toteutetussa Hula – Hulevesien laadun hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi -hankkeessa hulevesirakenteeseen tulevaa hulevesivirtaamaa mitattiin akustisella StarFlow QSD -anturilla. Anturi mittasi veden pinnankorkeutta hulevesirakenteen tuloputkessa ja mittaustulos yhdistettiin tuloputken poikkipinta-ala tietoon. Tällä tavalla saatiin selville rakenteeseen tulevan huleveden määrä yksikössä l/s. (Ranta-Korhonen ym. 2022, 33.)

Hulevesien määrää ja laatua voidaan myös arvioida erilaisten verkosta vapaasti saatavilla olevien aineistojen avulla. Sade (määrä ja intensiteetti) - ja lämpötilatiedot ovat saatavilla Ilmatieteenlaitoksen sivustoilla, joilta voidaan ladata havaintoja halutulta aikaväliltä ja havaintoväliltä eri havaintoasemilta (Ilmatieteenlaitos s.a.). Purkuvesistöjen valuma-alueita puolestaan voidaan arvioida VALUE-työkalun avulla (VALUE s.a). Lisäksi CORINE-maanpeiteaineiston avulla voidaan arvioida vettä läpäisemättömien pintojen pinta-alaa valuma-alueella (CORINE Land Cover s.a.). Mikäli hulevesien purkuvesistö on tyypiltään virtavesi, voidaan muun muassa sen virtaama- ja ravinnepitoisuuksien

vaihteluita arvioida VEMALA-vesistömallinnusjärjestelmän avulla (Syke 2024.) Määrien arvioinnissa voidaan myös hyödyntää mitoitussateen käsitettä. Mitoitussadetta hyödynnetään myös erilaisten hulevesien käsittelyrakenteiden tilavuuden mitoituksessa. (Kuntaliitto 2012, 102.)

2.6 Tulevaisuus ja suojelutoimet

Hulevesien haitta-ainepitoisuudet ovat tavallisesti melko matalia. Kun kuormitus kuitenkin on pitkäkestoista ja jatkuvaa ja kokonaisvesimäärät ovat suuria, muodostuu myös kokonaiskuormituksesta ajan myötä merkittävä. (Valtonen ym. 2023, 34.) Tämä yhdistettynä kiihtyvään urbanisaatioon ja kaupunkirakenteen tiivistymiseen aiheuttaa sen, että tulevaisuudessa myös hulevesien määrä ja valunnan intensiteetti tulee lisääntymään. Tämän takia hulevesien käsittelyn merkitys ennen niiden johtamista vastaanottavaan vesistöön tulee entisestään korostumaan. (Hulevesiopas 2012, 19.)

Hulevesien käsittelyä on tutkittu paljon ja tutkimuksen pohjalta on luotu erilaisia toimintamalleja. Hulevesien käsittely tiiviisti rakennetulla kaupunkialueella voi olla hankalaa tilanahtauden vuoksi. Uusilla asuinalueella hulevesirakenteiden vaatima tila voidaan jo lähtökohtaisesti ottaa kaavoituksessa huomioon. (Hulevesiopas 2012, 23.) Hulevesien hallinnan suunnittelussa lähtökohtana tulee olla se, että luonnollinen vedenkierto häiriintyisi mahdollisimman vähän. Toisin sanoen käytäntönä tulisi olla hulevesien syntymisen ehkäisy kiinteistöllä ja syntyneiden hulevesien imeytys jo hulevesien hallintaketjun alkupäässä. Vasta toissijaisia käytäntöjä ovat hulevesien viivyttäminen ja hallittu johtaminen eteenpäin. (RT 103006: 2018.)

Suomen oloissa merkittävää on talviaikaisen kuormituksen hallinta. Ilmastonmuutoksen myötä odotettavissa on talviaikaisen sademäärän kasvu sekä sateen olomuodon muutos lumesta vedeksi. Lisäksi kevään sulamisvesien on tutkimusten perusteella havaittu sisältävän erityisen paljon haitta-aineita. (Valtonen ym. 2023, 30; Hulevesiopas 2012, 131.) Haasteena onkin toteuttaa sellaisia hulevesien käsittelyrakenteita, jotka toimivat myös talviaikaan ja etenkin kevään sulamiskauden aikana. Toiminnan yleiseksi tavoitteeksi tulee asettaa hulevesien entistä parempi käsittely tulevaisuudessa ja se, ettei jatkossa hulevesiä johdettaisi enää lainkaan vesistöihin käsittelemättöminä.

3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

3.1 Prosessin kuvaus ja kirjoitetut artikkelit

Opinnäytetyössä tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin Mikkelin kaupunkialueella syntyvien hulevesien aiheuttamia muutoksia Seitsennimisen joen Hanhijoen nimellä tunnetun jokiosuuden veden laadulle. Työkaluina tässä olivat jatkuvatoiminen mittaus, vesinäytteenotto ja yksittäisten vesinäytteiden analysointi, sekä erilaisten avointen kartta- ja tietoaaineistojen hyödyntäminen. Opinnäytetyön tutkimustuloksista kirjoitettiin kolme artikkelia.

Artikkelissa ”Jatkuvatoiminen sameusmittaus sekä kiintoaine- ja fosforipitoisuudet Mikkelin Hanhijoella” tarkasteltiin automaattisen jatkuvatoimisen mittauksen hyödyntämistä hulevesien vesistövaikutusten seurannassa. Tehdyn tutkimuksen alkuoletuksena oli, että kaupunkialueella sade- ja sulamisvesistä syntyvät hulevedet aiheuttavat vastaanottavaan vesistöön kuormitusta, joka näkyy sekä sameusarvon kasvuna että kiintoaine- ja fosforipitoisuuksien nousuna. Tutkimuksen aikana seurattiin sadannan vaikutusta automaattisen vesistösondin mittaamaan sameusarvoon ja mitatun sameusarvon suhdetta vesinäytteistä analysoituihin kiintoaines- ja fosforipitoisuuksiin. Monitorointi toteutettiin Hanhijoessa syksyllä 2020 ja keväällä 2021. Artikkelissa tarkasteltiin myös sateen ja sameusarvojen nousun välistä viivettä. Tarkastelussa hyödynnettiin VEMALA-vesistömallin simuloituja arvoja virtaamien osalta. Lisäksi hyödynnettiin Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa ilman lämpötilan, sademäärien ja sateen intensiteetin osalta.

Artikkelissa ” Sademäärät ja jatkuvatoimiset mittaukset Mikkelin Hanhijoella” tarkasteltiin sadannan ja hulevesien aiheuttamia veden laadun muutoksia. Tutkimuksen alkuoletuksena oli se, että hulevesitapahtuman aiheuttamat vedenlaadun muutokset tapahtuvat viiveellä ja ne voivat olla erisuuntaisia eri parametrien kohdalla. Tämänkaltaisten vedenlaadun muutosten tarkasteluun jatkuvatoimisen mittauksen oletettiin sopivan hyvin. Artikkelissa tarkasteltiin sateen ja valumien vaikutusta automaattisen mittalaitteen mittaamiin sähkönjohtoky-

vyn, pH:n, lämpötilan ja happipitoisuuden arvoihin, sekä sateen ja kyseisten arvojen muutoksen välistä viivettä. Myös tässä tarkastelussa hyödynnettiin VEMALA-vesistömallin simuloituja arvoja virtaamien osalta, sekä Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa ilman lämpötilan, sademäärien ja sateen intensiteetin osalta.

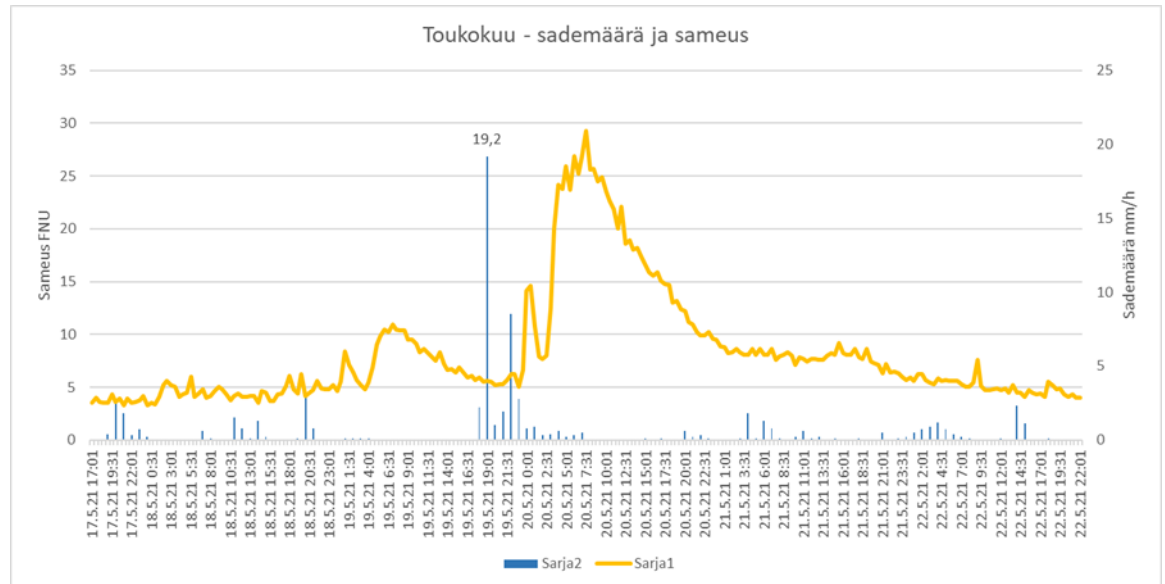
Artikkelissa ”Tieliikenteessä syntyvän mikromuovin määrän arviointi Hanhijoen valuma-alueella” tarkasteltiin liikenteen aiheuttamia mikromuovimääriä Seitsennimisen joen valuma-alueella Mikkelissä erilaisten kartta-aineistojen, Väyläviraston liikennemäärädatan ja tilastollisen aineiston avulla. Tarkastelun kohteena olivat valuma-alueen läpi kulkevat liikennemääriltään suurimmat tiet, joiden ajoneuvomäärät oli mahdollista selvittää tilastollisen aineiston avulla. Artikkeliksi on tyypiltään laskennallinen tarkastelu. Artikkelissa on tutkittu samalla sitä, minkälaisia avoimia tietokantoja ja -aineistoja on käytettävissä ja minkälaisia tuloksia niitä hyödyntämällä on mahdollista saavuttaa.

Kaikki artikkelit on julkaistu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Xamk kehittämällä -julkaisusarjassa vuosittain ilmestyvässä Metsä, ympäristöä ja energia – Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -vuosijulkaisussa. Kaksi ensimmäistä artikkelia on julkaistu vuoden 2021 vuosijulkaisussa. Vuosijulkaisun pysyvä osoite on seuraava: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-408-9>. Kolmas artikkeli on julkaistu vuoden 2023 vuosijulkaisussa. Julkaisun pysyvä osoite on seuraava: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-555-0>. Vuosijulkaisujen tarkoitus on esitellä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa käynnissä olevaa tutkimus-, kehitys ja innovaatiotoimintaa.

3.2 Artikkelien muodostama kokonaisuus - tulokset

Jatkuvatoimisen mittalaitteen avulla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin sadannan ja veden sameuden välillä olevan yhteys, kun sateen määrä tai intensiteetti oli suuri tai sade oli pitkäkestoista. Pienillä sademäärillä sameusarvon nousua ei havaittu. Myös korkean ilmankosteuden havaittiin olevan yhteydessä sameusarvon kohoamiseen. Tämä johtuu todennäköisesti haihdunnan vähentyemisestä, jolloin suurempi osa sadannasta päätyy hulevesinä jokeen. Lumen su-

lamiskaudella maastossa olevat sulamisvedet ja ilman lämpötila vaikuttivat selvästi veden sameusarvon nousuun. Sadannan ja sameusarvon nousun välinen yhteys toukokuussa 2021 on nähtävissä kuvassa 4.



Kuva 4. Toukokuun 2021 sademäärät ja sameusarvon muutokset

Jatkuvatoimisesti mitatun sameuden ja vedestä määritettyjen kiintoaine- ja fosforipitoisuuden välillä havaittiin syksyllä 2020 suoritetun monitorointikauden aikana korrelaatiota ainoastaan yhdellä näytteenotolla kuudesta. Kaikkien kuuden näytteenoton tulosten perusteella laskettu kiintoaineen ja sameuden välinen Pearsonin korrelaatiokerroin r oli 0,24. Kiintoainepitoisuuden ja kokonaisfosforin välinen korrelaatiokerroin r oli 0,11. Käytännössä nämä korrelaatiot ovat merkityksettömiä ja voidaan todeta, ettei muuttujien välillä ollut korrelaatiota.

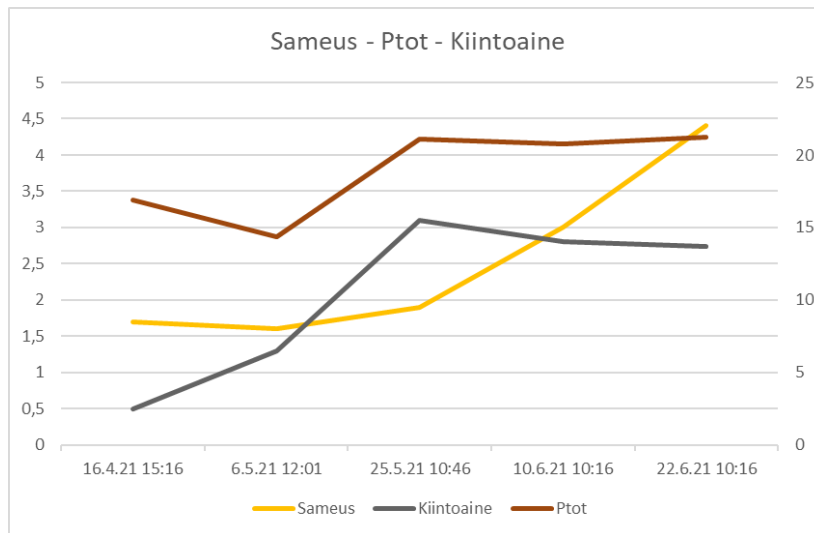
Kevään 2021 monitorointijaksolla havaittiin etenkin kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välillä olevan riippuvuussuhde. Niiden välille laskettu Pearsonin korrelaatiokerroin r oli 0,84, elin niiden välillä voitiin havaita laskennallista lineaarista riippuvuutta. Kiintoaineen ja sameuden välille laskettu Pearsonin korrelaatiokerroin r oli 0,55. Tämä kertoo, että myös niiden välillä oli laskennallinen lineaarinen riippuvuussuhde, tosin heikompi kuin kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välillä. (Kestilä-Kekkonen 2023.)

Lineaarisen korrelaation merkittävyyttä voidaan tarkastella yhtälön 1 avulla (Krehbiel 2004).

$$[r_{xy}] \geq \frac{2}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

jossa r Pearsonin korrelaatiokerroin
 n näytteenottojen määrä

Kun näytteenottoja oli yhteensä 6 kpl, saatiin yhtälöä hyödyntämällä vahvistus kiintoaines- ja kokonaisfosforipitoisuuden lineaarisesta riippuvuussuhteesta. Kiintoainespitoisuuden ja sameuden välinen lineaarinen korrelaatio oli puolestaan heikko. Kiintoaines-, kokonaisfosfori- ja sameusarvot keväällä 2021 on esitetty kuvassa 5. Myös kuvaaja vahvistaa kiintoaines- ja fosforipitoisuuksien riippuvuuden.

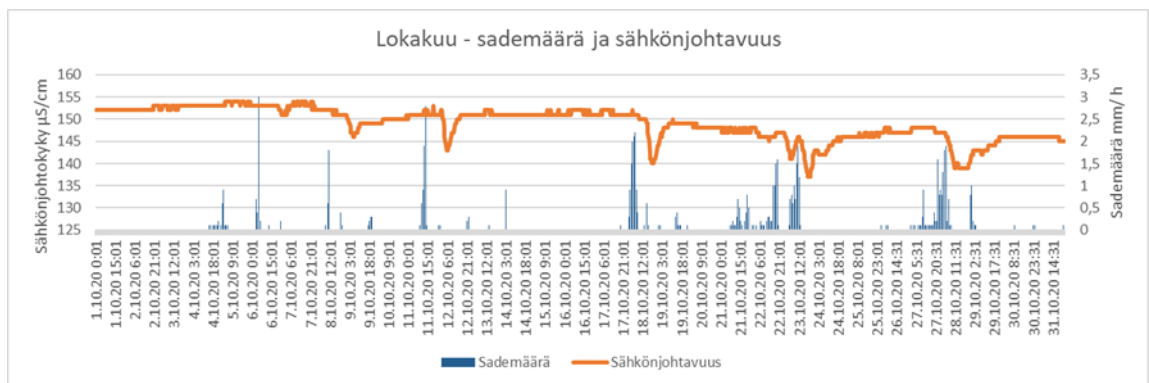


Kuva 5. Kiintoaines-, kokonaisfosfori- ja sameusarvot keväällä 2021

Kun jokiveden laatua tarkastelee kiintoaines- ja fosforipitoisuuksien avulla, voidaan sen todeta olevan hyvälaatuista. Korkein mitattu kokonaisfosforipitoisuus oli 21,22 µg/l. Tämä alittaa Tukholman läänissä käytössä olevan 1M-raja-arvon (päästö suoraan pienvesistöön) 160 µm/l selvästi. Korkein mitattu kiintoainespitoisuus puolestaan oli 3,1 mg/l ja sille vastaava 1M-raja-arvo on 40 mg/l. Sadannan ja hulevesikuormituksen aiheuttamasta fosforipitoisuuden muutoksesta ei saatu suoria havaintoja näytteenoton ajoituksen puutteiden vuoksi.

Jatkuvatoimisen mittauksen avulla todettiin sateen laskevan Hanhijoen veden sähköjohtavuutta 4–10 mittayksikön verran syksyn 2020 monitorointikaudella ja sama ilmiö havaittiin myös keväällä 2021. Pitkäkestoinen ja runsas sade aiheutti suuremman muutoksen. Sadannan ja muutoksen välinen viive oli noin 1

vrk. Mielenkiintoinen havainto oli se, että syksyllä 2020 joen veden sähkönjohtokyky vaihteli välillä 135–155 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kun taas keväällä 2021 sähkönjohtokyvyn arvo oli noin puolet siitä, eli 76–82 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todennäköisesti keväällä mitattu pienempi sähkönjohtavuuden arvo johtui runsaista sulamisvesistä, jotka ”laimensivat” jokivettä. Sähkönjohtavuuden arvo on vesistölle tyypillinen suure, eikä se luontaisesti vaihtelee merkittävästi. Jokivesille tyypillinen sähkönjohtavuus on 100–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Oravainen 1997, 10.) Hanhijoen veden sähkönjohtavuuden vaihtelu lokakuussa 2020 on esitetty kuvassa 6. Kuvaajan perusteella voidaan havaita sateen laskevan sähkönjohtavuuden arvoa.

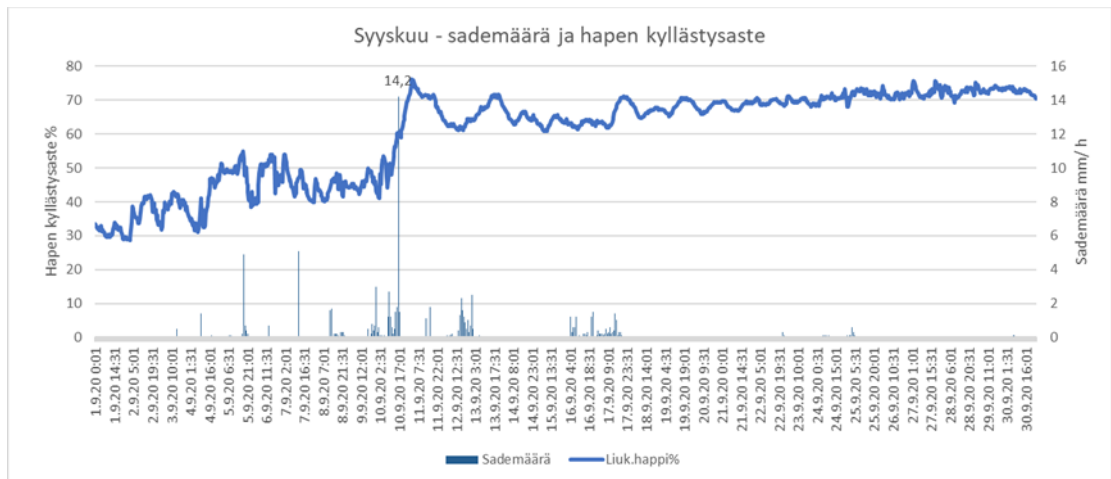


Kuva 6. Lokakuun 2020 sademäärät ja sähkönjohtavuuden muutos

Jokiveden pH-arvon ja sadannan välillä ei ollut mittausten perusteella selkeää vaikutussuhdetta, sillä sadanta aiheutti sekä pH:n nousua että laskua. Monitorintajaksojen aikana pH-arvo vaihteli välillä 6,2–6,6 ja oli korkeimmillaan alkukeväästä 2021. Suotuisa pH-alue vesieliöiden esiintymiselle ja lisääntymiselle on 6–8. Suomen vesistöissä veden pH on tyypillisesti 6,5–6,8. Tämä johtuu huumuksesta, joka aiheuttaa vesien lievää happamuutta. Veden pH-arvo vaihtelee hieman vuodenaikojen mukaan ja on yleensä talviaikaan matalampi. Korkea pH-arvo saattaa olla merkinä esimerkiksi leväkukinnasta. (Oravainen 1999, 12.) Pitkäkestoisen seurannan perusteella Hanhijoen veden pH-arvo on 1990-lähtien muuttunut happamasta neutraalimpaan suuntaan (pH-arvon muutos 6,2 → 6,8). Tämä saattaa indikoida joen hidasta rehevöitymistä. (Kosonen ym. 2020.)

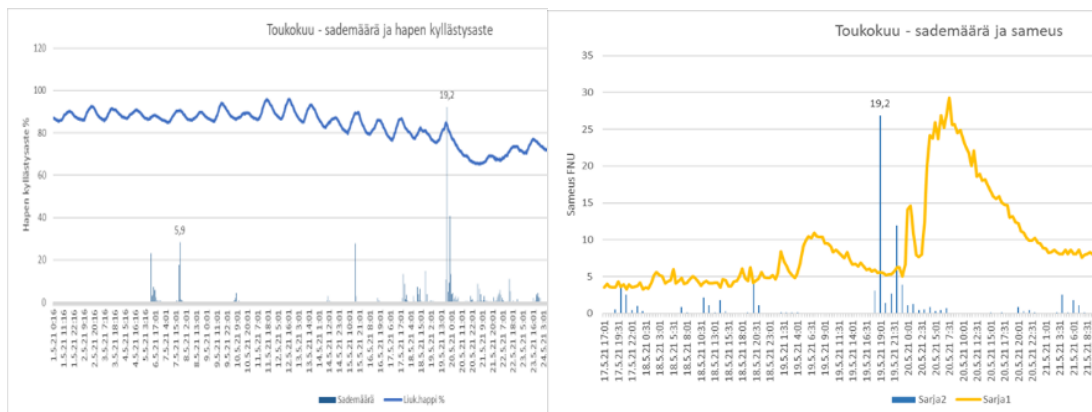
Opinnäytetyössä suoritetun jatkuvatoimisten mittausten perusteella sadanta nosti jokiveden happipitoisuutta. Syyskuun 2020 alussa intensiteetiltään voima-

kas sadetapahtuma 10.9. (tunnin sademäärä 14,2 mm) nosti jokiveden happipitoisuutta. Ennen sateen alkua veden happipitoisuus oli 5,13 mg/l ja kyllästysaste 48,3 %. Sateen jälkeen vastaavat arvot olivat 6,31 mg/l ja kyllästysaste 59,2 %. Sade myös laski veden lämpötilaa 12,60 celsiusasteesta 12,45 celsiusasteeseen. Myös sulamisvesien todettiin nostavan veden happipitoisuutta. Kuvassa 7 on nähtävissä sateen vaikutus hapen kyllästysasteeseen syyskuussa 2020. Rankkasateen vaikutus on kuvaajan avulla selvästi nähtävissä.



Kuva 7. Sademäärä ja hapen kyllästysaste (%) syyskuussa 2020

Tutkimuksen aikana havaittiin, että rankkasade voi myös laskea veden happipitoisuutta, kuten tapahtui runsaiden sateiden jälkeen 19.5.2021. Koska samaan aikaan happipitoisuuden laskun aikaan veden sameusarvo nousi, oli happipitoisuuden lasku todennäköisesti seurausta veteen valumavesien mukana tulleesta orgaanisesta aineesta ja sen hajoamisesta. Kuvassa 8 on esitetty sateen vaikutus veden hapen kyllästysasteeseen ja sameusarvoon.



Kuva 8. Rankan sateen vaikutus Hanhijoen veden hapen kyllästysasteeseen ja sameusarvoon 19.5.2021

Kartta-aineistojen ja eri tietokantojen pohjalta tehdyn laskennallisen tarkastelun perusteella Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla teillä syntyy 3,3–5,9 tonnia mikromuovihiukkasia vuosittain. Näistä vesistöihin päätyy Alankomaissa tehdyn tutkimuksen mukaan hulevesien mukana noin 12 % (Kole ym. 2017), Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa määrän on puolestaan arvioitu olevan 20 % (Unice ym. 2019). Hyödynnettäessä edellä mainittuja arvoja laskennassa todetaan Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevien isojen teiden aiheuttavan vuosittain 396–1 180 kilogrammaa mikromuovipäästöjä vesistöihin.

4 TULOSTEN MERKITTÄVYYS JA HYÖDYNNETTÄVYYS

4.1 Tulostarkastelu

Jatkuvatoimiset vedenlaadun mittalaitteet on tunnistettu toimivaksi keinoksi monitoroida huleveden purkuvesistöissä aiheuttamia veden laadun muutoksia. Tässä opinnäytetyössä tehty tutkimus vahvistaa osaltaan tätä käsitystä. Jatkuvatoimisilla mittalaitteilla saadaan erittäin hyvin näkyviin huleveden eri mittausparametreissa aiheuttamat muutokset. Verrattuna perinteiseen vesinäytteenottoon, joka avulla saadaan käsitys ainoastaan tietynä ajankohtana vallitsevasta vedenlaadusta, voidaan jatkuvatoimisilla mittauksilla kattaa esimerkiksi kokonaisen sadetapahtuman aikana tapahtuvien muutosten seuranta.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden avulla saatiin selvästi näkyviin sateen ja sen myötä hulevesien vaikutus purkuvesistönä toimivan Hanhijoen veden laatuun. Lisäksi mittaustulosten avulla voitiin tutkia ensisijaisesti mitattavan suureen, eli sameuden ja toissijaisten suureiden, eli kiintoaine- ja fosforipitoisuuden välistä korrelaatiota. Korrelaatiota ei havaittu syksyllä 2020 tehdyssä monitoroinnissa, mutta keväällä 2021 korrelaatio eri muuttujien välillä vaikutti niin vahvalta, että jatkuvatoimisesti mitattua sameusarvoa olisi mahdollista käyttää kiintoaine- ja fosforipitoisuuksien määrittämiseen (Tattari ym. 2019, 32). Näytteenottojen ja analyysin pieni määrä vaikeuttaa kuitenkin tulkintaa.

Mikäli sameus-kiintoaine-fosforipitoisuus -korrelaatiota olisi havaittavissa, olisi mahdollista automaattisten sameusmittausten avulla määrittää ainakin suuntaa antavasti veden kiintoaines- ja fosforipitoisuuksia. Tämä tarjoaisi nopean ja kus-

tannustehokkaan tavan monitoroida veden laatua, sillä laboratoriossa suoritettavat analyysit ovat sekä aikaa vieviä että kalliita. Mikäli korrelaatio sameusarvon ja kiintoaine- sekä fosforipitoisuuksien välillä todettaisiin riittävän vahvaksi, antaisivat jatkuvatoimiset mittaukset työkaluja selvittää veden laadun vaihteluja vesistössä myös laajemmin.

Tutkimuksessa havaittiin sadannan vaikuttavan hulevesien kautta jokiveden eri laatuparametreihin. Vaikutukset eivät kuitenkaan aina ole ennako-odotusten mukaisia, sillä mittausten perusteella Hanhijoen vedessä ei esimerkiksi ole nähtävissä liukkaudentorjunnan aiheuttamaa sähkönjohtavuuden nousua, vaan sähkönjohtavuus päinvastoin on keväällä matalampi kuin syksyllä. Tähän on todennäköisesti syynä joen sijainti pohjavesialueella, jolloin teiden suo- lausta on vähennetty, eikä tiesuolaa päädy hulevesiin merkittävässä määrin. Vaikutukset eivät myöskään aina ole yksiselitteisiä, sillä sadannan havaittiin sekä nostavan että laskevan jokiveden pH-arvoa. Kokonaisuudessaan havaitut pH-arvon muutokset olivat kuitenkin maltillisia.

Opinnäytetyön kolmannessa artikkelissa tehty tilastollinen tarkastelu tarjosi tietoa liikenteen aiheuttamien mikromuovipäästöjen suuruusluokasta Hanhijoen valuma-alueella. Mikromuovipäästöjen määrää on erittäin vaikea todentaa empiirisesti, mutta kirjallisuudessa vallitsee selvä konsensus liikenteen roolista mikromuovien lähteenä (esimerkiksi Liu ym. 2022; Magnusson ym. 2016; Setälä ym. 2020). Laskennassa käytetyt arvot ja alkuoletukset vaikuttavat luonnollisesti laskennan tuloksiin ja tulosta voidaankin pitää lähinnä suuntaa antavana.

4.2 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä tarkasteltiin hulevesien aiheuttamaa kuormitusta Mikkelin kaupunkialueen läpi virtaavan Seitsennimisen joen veden laadulle. Tehdyssä tutkimuksessa todettiin hulevesien vaikuttavan vastaanottavan vesistön veden laatuun ja jatkuvatoimisten mittalaitteiden olevan toimiva keino veden laadun muutosten havainnoinnissa. Kartta- ja tietokanta-aineistojen sekä erilaisten lähteiden avulla tutkittiin laskennallisesti liikenteen mikromuovipäästöjä. Laskennan tulos on suuntaa antava, mutta sen perusteella mikromuovipäästöt Hanhijoen valuma-alueella ovat suuria.

Hulevesien sisältämien epäpuhtauksien ja haitta-aineiden pääsy vesistöihin voidaan estää vähentämällä hulevesien syntymistä sekä käsittelemällä syntyneet hulevedet eri keinoin. Hulevesien purkuvesistöille aiheuttama kuormitus on jatkuvaa, ja vesistövaikutukset voivat syntyä vähitellen pitkän ajanjakson kuluessa. Pahimmassa tapauksessa hulevedet ja niiden sisältämät epäpuhtaudet aiheuttavat vesien rehevöitymistä sekä lajikirjon yksipuolistumista. Hulevesien sisältämät haitalliset aineet voivat olla myös myrkyllisiä vesieliöstölle. Hulevesien käsittelyyn tuleekin jatkossa kiinnittää entistä parempaa huomiota.

Jatkuvatoimista mittausta, vesinäytteenottoa ja korrelaatiotarkastelua olisi kiinnostavaa jatkaa. Samalla tulisi pidentää monitorointijakson pituutta sekä tihentää vesinäytteiden ottoväliä. Näytteenotto tulisi myös ajoittaa paremmin ja huomioida esimerkiksi sadetapahtumat. Mikäli tällä tavoin olisi mahdollista luoda toimiva korrelaatiomalli, tarjoaisi se mahdollisuuden seurata helposti ja nopeasti veden kiintoaine- ja fosforipitoisuutta sameusarvoa jatkuvatoimisesti monitoroimalla. Syntyvien mikromuovipartikkelien määrän kartoitus tekee ongelman näkyväksi ja toivottavasti kannustaisi myös hulevesien entistä parempaan käsittelyyn. Tätäkin tarkastelua olisi kiinnostavaa jatkaa ja pyrkiä lisäämään siihen kokeellinen osio, jonka avulla syntyvien mikromuovien määrää voitaisiin selvittää tarkemmin.

LÄHTEET

- Airola, J., Nurmi, P. & Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 12/2014. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-14.pdf> [viitattu 9.5.2024].
- Benjankar, R., Kafle, R., Satyal, S. & Adhikari, N. 2021. Analyses of Spatial and Temporal Variations of Salt Concentration in Waterbodies Based on High Resolution Measurements Using Sensors. Department of Civil Engineering, Southern Illinois University Edwardsville, Edwardsville, IL 62026, USA. *Hydrology* 2021, 2, 64. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/hydrology8020064> [viitattu 9.5.2024].
- CORINE s.a. CORINE Land Cover. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> [viitattu 11.5.2024].
- Duncan, H. 1999. Urban stormwater quality: A statistical overview. Cooperative Research centre for Catchment hydrology. Report 99/3. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199903.pdf> [viitattu 9.5.2024].
- Forsius, M. 1987. Suomen järvien alueellinen happamuustilanne. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu 1987/ 9. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. PDF-dokumentti. Saatavissa: [content \(helsinki.fi\)](https://content.helsinki.fi) [viitattu 3.5.2024].
- Gao, Z., Zhang, Q. & Wang, X. 2023. First flush stormwater pollution in urban catchments: A review of its characterization and quantification towards optimization of control measures. *Journal of Environmental Management* 340, 117976. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.jenvman.2023.117976> [viitattu 6.5.2024].
- Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W. 2007. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 1–2, 26–42. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.jconhyd.2006.08.008> [viitattu 10.5.2024].
- Hulevesiopas. 2012. Helsinki: Suomen Kuntaliitto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas>. [viitattu 25.4.2024].
- Hämäläinen, L. (toim.) 2015. Pienvesien suojele- ja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja 2015/ 27. Helsinki: Ympäristöministeriö & maa- ja metsätalousministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://vesi.fi/aineistopankki/pienvesien-suojele-ja-kunnostusstrategia/>. [viitattu 3.5.2024].
- Ilmastokestävän kaupungin suunnitteluopas s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmastotyokalut.fi/index.htm>. [viitattu 4.5.2024].

Ilmasto-opas. 2022. Etelä-Savo – järvet vaikuttavat ilmastoon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/etela-savo-jarvet-vaikuttavat-ilmastoon> [viitattu 11.5.2024].

Ilmatieteenlaitos s.a. Havaintojen lataus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> [viitattu 11.5.2024].

Jensen, D.M.R., Thomsen, A.T.H, Larsen, T., Egemose, S. & Mikkelsen, P.S. 2020. From EU Directives to Local Stormwater Discharge Permits: A Study of Regulatory Uncertainty and Practice Gaps in Denmark. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6317>. [viitattu 11.5.2024].

Kestilä-Kekkonen, E. 2023. Kovarianssi ja korrelaatio. Teoksessa Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaristo WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelma-opetus/> . [Viitattu 23.5.2024].

Khadka, A., Kokkonen, T., Niemi, T. J., Lähde, E., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2020. Towards natural water cycle in urban areas: Modelling stormwater management designs. *Urban Water Journal* 7, 587–597. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700285> [viitattu 9.5.2024].

Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J. & Ragas M.J. 2017. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 1265. Verkkolehti. Saatavissa: [10.3390/ijerph14101265](https://doi.org/10.3390/ijerph14101265) [viitattu 2.5.2024].

Kosonen, M., Puhakainen, L., Ustinov, A., Huttunen, A. & Turtiainen, P. 2021. Hanhिलammen hoito- ja käyttösuunnitelma 2021–2036. Mikkeli. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/08/Hanhilammen-hoito-ja-kayttosuunnitelma.pdf>. [viitattu 13.5.2024].

Kotanen, J. (Toim.), Manninen, P., Muuri, L., Ranta, P., Sojakka, P., Lindholm, P., Roiha, T., Rajala, V.; Kujala, K. & Tirkkonen, M. 2022. Vesien tila hyväksi yhdessä – Etelä-Savon vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen raportteja 19/2022. Mikkeli: Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/184580/Raportteja%2019%202022.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [viitattu 11.5.2024].

Krehbiel, T. C. 2004. Correlation Coefficient Rule of Thumb. *Decision Sciences Journal of Innovative Education* 2, 97-100. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0011-7315.2004.00025.x> [viitattu 24.5.2024]

Kyllönen, S. 2017. Huleveden haitta-ainekuormitukset kaupungistuneilla pohjavesialueilla. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24973/kyllonen.pdf?sequence=4> [viitattu 5.5.2024].

Lee, J.H., Bang, K.W., Ketchum L.H, Choe, J.S. & Yu, M.J. 2002. First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment* 293, 163-175. Verkkolehti. Saatavissa: [https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/S0048-9697\(02\)00006-2](https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/S0048-9697(02)00006-2) [viitattu 10.5.2024].

Liu, Y., Chen, H., Wu, S., Gao, J., Li, Y., An Z., Mao, B., Tu, R. & Li, T. 2022. Impact of vehicle type, tyre feature and driving behaviour on tyre wear under real-world driving conditions. *Science of Total Environment* 842, 156950. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.scitotenv.2022.156950> [viitattu 12.5.2024].

Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 682/2014, §13. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140682> [viitattu 24.4.2024].

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Johanna Stadmark, J. Voisin, A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastic to the marine environment. Tukholma: Swedish Environmental Research Institute. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473b16/1628417679619/FULLTEXT01.pdf> [viitattu 24.4.2024].

Mykkänen, A., Tirkkonen, M., Ranta-Korhonen, T. & Göös, A. 2022. Karikon hulevesiallas – monitoroinnin tulokset. Teoksessa Ranta-Korhonen, T. & Pekurinen, L. (toim.) HULA – Hulevesien laadullinen hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun julkaisuja, Xamk kehittää 206/2022. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/786012/URNISBN9789523444997.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 11.5.2024].

Nurmi, P. 2001. Sadevesiviemäreiden vedenlaatu. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/moniste-08-01.pdf> [viitattu 9.5.2024].

Nyström, F., Nordqvist, K. & Viklander, M. 2020. Removal of metals and hydrocarbons from stormwater using coagulation and flocculation. *Water Research* 182, 115919. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.watres.2020.115919> [viitattu 15.5.2024].

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – Opasvihkonen. Kokemäen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [viitattu 25.4.2024].

Palomäki, A., Leppänen, A. & Alaja, H. 2021. Vesienhoidon yleissuunnitelma Mikkeli–Luonterin kalatalousalueelle. Jyväskylä: Eurofins Ahma Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mikkelisaimaa.fi/wp-content/uploads/Vesienhoidon-yleissuunnitelma-Mikkeli-Luonterin-kalatalousalueelle_18062021.pdf [viitattu 12.5.2024].

Perera, T., McGree, J., Egodowatta, P., Jinasada, K. & Goonetilleke, A. Taxonomy of influential factors for predicting pollutant first flush in urban storm-water runoff. *Water Research* 166, 115075. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.watres.2019.115075> [viitattu 16.5.2024].

Pilli-Sihvola, K., Haanpää, S. & Virtanen, K. (toim.) 2023. Ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet Suomessa Tarkastelu kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2030 taustaksi. Helsinki: Valtioneuvoston julkaisuja 2023:72. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-566-5> [viitattu 25.4.2024].

Rautio, J. 2021. Hanhikankaan pohjavesialueen suojelusuunnitelma 2021. Mikkeli: Mikkelin seudun ympäristöpalvelut. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mikkeli.fi/wp-content/uploads/2023/09/Hanhikankaan_PVSUSU_2021.pdf. Viitattu: [13.5.2024].

Razguliaev, N., Flanagan, K., Muthanna, T. & Viklander, M. 2024 Urban stormwater quality: A review of methods for continuous field monitoring *Water Research*, 249, 120929. Verkkolehti. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120929> [viitattu 16.5.2024].

Regier, P., González-Pinzón, R. & Khandewal, A. 2020. Water quality impacts of urban and non-urban arid-land runoff on the Rio Grande. *Science of The Total Environment* 729, 138443. Verkkolehti. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.scitotenv.2020.138443> [viitattu 16.5.2024].

Riktsvärdesgruppen 2009. Regionala dagvattennätverket i Stockholms län Riktsvärdesgruppen. Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp. Tukholma: Stockholms läns landsting. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://static1.squarespace.com/static/592c525fe3df282718f63597/t/5e05bb3b966a241ee2c7dff6/1577433916644/Riktvarder_dagvatten_feb_2009.pdf [viitattu 10.5.2024].

RT 103006. 2018. Rakennustieto. Hulevesirakenteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.xamk.fi/api/content/2182#page=1> [viitattu 12.5.2024].

Sainio, J. 2023. Pienvesiin päästettävien hulevesien haitta-aineet ja laadun tarkkailu ympäristöluvallisilla laitoksilla. Aalto-yliopisto. Master's programme in Water and Environmental Engineering. Pro gradu -tutkielma. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/8c1559f1-fb76-45be-8779-a518ddf3020e/content> [viitattu 11.5.2024].

Setälä, O. & Suikkanen, S. (toim.) 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/ 2020. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstreams/039a3f34-0d85-41c7-81db-1b0e3dc53652/download> [viitattu 19.5.2024].

Suomen ilmastonmuutosennusteet on päivitetty. 2022. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmastokatsaus.fi/2022/08/19/suomen-ilmastonmuutosennusteet-on-paivitetty/>. [viitattu 25.4.2024].

Syke 2024. Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus- ja arviointijärjestelmä VEMALA. 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 11.5.2024].

Taka, M., Sillanpää, N., Niemi, T., Warsta, L., Kokkonen, T., Setälä, H. & Luoto, M. 2017. Hulevesien määrän merkittävä kasvu on suuri ympäristömuutos. Kuntalehti 5.10.2017. Verkkoletti. Saatavissa: <https://kuntatekniikka.fi/2017/10/05/hulevesien-maaran-merkittava-kasvu-suuri-ymparistomuutos/>. [viitattu 25.4.2024].

Taka, M., Sillanpää, N., Niemi, T., Warsta, L., Kokkonen, T. & Setälä, H. 2022. Heavy metals from heavy land use? Spatio-temporal patterns of urban runoff metal loads. *Science of The Total Environment* 817, 152855. Verkkoletti. Saatavilla: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.scitotenv.2021.152855> [viitattu 16.5.2024].

Tattari, S., Tarvainen, M., Kallio, K., Lepistö, A., Näykki, T., Raateoja, M. & Seppälä, J. 2019. Laatukäsikirja jatkuvatoimisille vedenlaadun mittauksille – Opas hyviksi käytännöiksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/ 2019. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/f7b18f6b-dab3-4014-ae82-773469ca461d/content>. [viitattu 10.5.2024].

Unice, K. M., Weeber, M. P., Abramson, M. M., Reid, R. C. D., van Gils, J. A. G., Markus, A. A., Vethaak, A. D., & Panko, J. M. (2019). Characterizing export of land-based microplastics to the estuary - Part II: Sensitivity analysis of an integrated geospatial microplastic transport modeling assessment of tire and road wear particles. *Science of the Total Environment* 646, 1650-1659. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.301> [viitattu 15.5.2024].

Vahtera, H. & Lahti, K. 2016. Hulevesien haitta-aineet – Kuormitusriski Vantaanjoen vesistölle? Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Raportti 25/2016. Helsinki: Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.vhvsy.fi/fi-les/upload_pdf/6620/Raportti%2025-2016%20Hulevesien%20haitta-aineet-Kuormitusriski%20Vantaanjoen%20vesist%C3%B6lle.pdf [viitattu 4.5.2024].

Valtanen, M., Nora Sillanpää, N., Hättinen, N. & Setälä, H. 2010. Hulevesien imeyttäminen ja suodattaminen: haitta-aineet ja menetelmät. STORMWATER-hanke – kirjallisuusselvitys. Helsingin Yliopiston Ympäristötieteiden laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/230854077_Hulevesien_imeyttäminen_ja_suodattaminen_haitta-aineet_ja_menetelmat [viitattu 3.5.2024].

Valtanen, M., Paavilainen, P., Jalonen, J., Sopanen, S., Suvanto, S. & Haapalainen, J. 2023. Selvitys hulevesien laadusta. Helsinki: Suomen Kuntaliitto ry,. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2023/2220-selvitys-hulevesien-laadusta> [viitattu 4.5.2024].

VALUE s.a. VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://paikkatieto.ymparisto.fi/value/> [viitattu 11.5.2024].

Vesi 2022. Hulevesien ympäristöriskit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/hulevesien-ymparistoriskit/>. [viitattu 10.5.2024].

Vesikartta s.a. Vesien tila. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikarttaviewers/Html5Viewer_4_14_2/Index.html?configBase=https://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/VesikarttaKansa/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default&locale=fi-FI [viitattu 11.5.2024].

Vesitieto 2019. Mitä on hulevesi? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/mita-on-hulevesi/>. [viitattu 3.5.2024].

Westerlund, C. 2007. Road Runoff Quality in Cold Climates. Luleå University of Technology. Department of Civil, Mining and Environmental Engineering. Division of Architecture and Infrastructure. Dissertation. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:990971/FULLTEXT01.pdf>. [viitattu 5.5.2024].

Ymparisto 2023. Rehevoityminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/meri/suomen-meriympariston-tila/rehevoityminen> [viitattu 10.5.2024].

Zhang, R., E. Band, L. & Groffman, P.M. 2023. Balancing upland green infrastructure and stream restoration to recover urban stormwater and nitrate load retention. *Journal of Hydrology* 2023, 626. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130364> [viitattu 17.5.2024].

Österlund, H., Blecken, G. & Viklander, M. 2023. Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry into stormwater. *Science of The Total Environment* 858, 159781. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.scitotenv.2022.159781> [viitattu 17.5.2024].

Artikkeli nro 1.

Julkaistu Metsä, ympäristö ja energia vahvuusalan vuoden 2021 TKI-vuosijulkaisussa. Julkaisun pysyvä osoite on: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-408-9>

JATKUVATOIMINEN SAMEUSMITTAUS SEKÄ KIINTOAINE- JA FOSFORIPITOISUUDET MIKKELIN HANHIJOELLA

Tuija Ranta-Korhonen

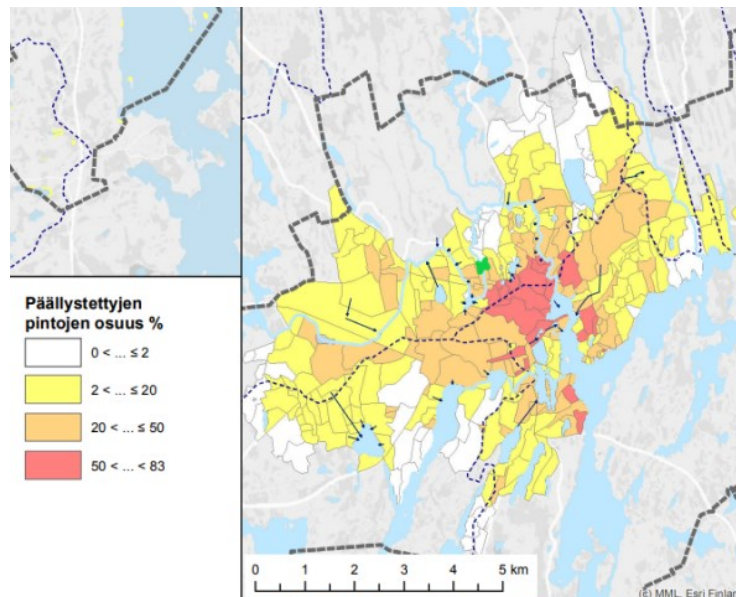
Johdanto

Artikkeli pohjautuu Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea -LUGABALT2 -hankkeessa Mikkelin Hanhijoella toteutetun veden laadun monitoroinnin tuloksiin. Monitorointiin osallistuivat projektipäällikkö Tuija Ranta-Korhonen ja tutkimusinsinööri Marina Markova. Monitorointia tehtiin sekä jatkuvatoimisen vesistösondin että näytteenoton avulla. Monitorointijaksoja oli kaksi. Jaksoista ensimmäinen ajoittui syksyyn 2020 (26.8.-9.11.2020) ja toinen toteutettiin keväällä 2021 (16.4.-1.7.2021). Artikkelissa tarkastellaan sateen ja valumien vaikutusta online-sondin mittaaman sameuden arvoon, sekä sateen ja sameusarvojen nousun välistä viivettä. Lisäksi tarkastellaan jatkuvatoimisella vesistösondilla mitattujen sameusarvojen sekä vesinäytteistä analysoitujen kiintoaine- ja fosforipitoisuuksien keskinäistä riippuvuussuhdetta. Tarkastelussa hyödynnetään Suomen ympäristökeskuksen kehittämän vesistömalli VEMALAn simuloituja arvoja virtaamien osalta. Lisäksi hyödynnettiin Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa ilman lämpötilan, sademäärien ja sateen intensiteetin osalta.

Mikkelin Hanhijoki

Hanhijoki on osa Vuoksen vesistöalueeseen kuuluvaa Seitsennimistä jokea. Seitsenniminen joki saa alkunsa Mikkelin Otavassa sijaitsevasta Iso-Kirveslamesta ja laskee Saimaan Savilahteen Mikkelin keskusta-alueen läheisyydessä. Hanhijoen valuma-alue on pinta-alaltaan noin 63 km² (VALUE). Corine 2012 -laskenta-aineiston mukaan alueen pinta-alasta asuinalueet kattavat noin 5 %, teollisuuden, palvelun ja liikenteen alueita on 6,1 %, virkistysalueita 2,5 %, viljelysmaita 4,5 % ja erilaisia metsämaita hieman yli 79 % alueesta. (VALUE).

Koska joki virtaa kaupunkialueen läpi on osa sen valuma-alueesta rakennettua aluetta. Kuvassa 1 on nähtävillä päällystettyjen pintojen osuus Mikkelin kaupunkialueella.



Kuva 1. Päällystettyjen pintojen osuus Mikkelin kaupunkialueella (Sito 2016) Hanhijoki ja tässä artikkelissa käytetty mittauspiste on merkitty karttaan vihreänä pisteenä. Kartta on vuodelta 2016, minkä jälkeen päällystettyjen pintojen osuus Hanhijoen valuma-alueella on kasvanut erilaisten rakennusprojektien myötä.

Valuma-alueen maankäyttö ja kasvillisuus vaikuttavat veden kiertokulkuun. Mikäli valuma-alue on luonnontilassa, päätyy sateesta noin 10 % vesistöön pintavaluntana, noin 40 % imeytyy maahan ja noin puolet haihtuu (Haakana 2018). Nämä prosentuaaliset osuudet luonnollisesti vaihtelevat vuodenajan ja säätilan mukaan. Kaupunkialueella veden luonnollinen kiertokulku häiriintyy ja päällystetyillä pinnoilla syntyvä hulevesi lisää vesistöihin päätyvää valuntaa, etenkin jos hulevesien käsittely on järjestetty puutteellisesti. Hulevesien sisältämät haitta-aineet, kuten esimerkiksi ravinteet, roskat ja muut epäpuhtaudet heikentävät purkuvesistöjen ja pohjavesien tilaa (Ympäristö 2020). Hanhijokeen johdetaan hulevesiä ainakin Tuskun ja Lehmuskylän kaupunginosista (Kosonen ym. 2021). Myös Rantakylästä tulevia hulevesiä päätyy jokeen.

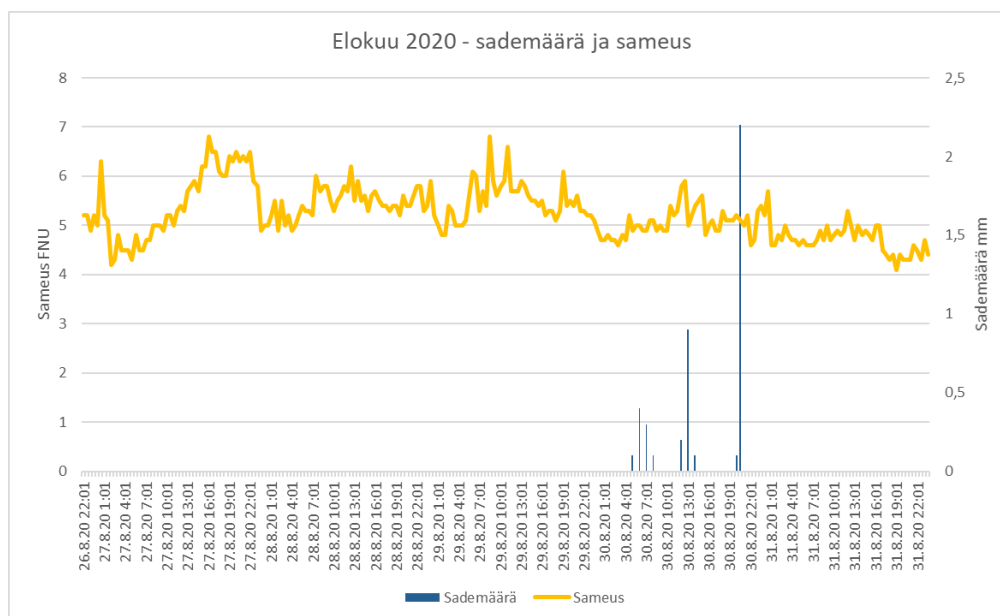
Jatkuvatoimiset mittaukset ja näytteenotto

Jatkuvatoimisisissa mittauksissa käytettiin YSI 6920V2 -vesistösondia, joka oli varustettu lämpötila-, johtokyky-, happi-, pH- sekä sameusantureilla. Mittalaite ilmoittaa sameuden yksiköllä FNU (Formazine Nephelometric Unit). Sameuden avulla määritetään veden kirkkautta. Käytössä oleva sameusanturi on optinen, eli veden sameuden mittaus perustuu valon kulkemaan matkaan ja valon siroamiseen mitattavassa nesteessä. Mitä enemmän vedessä on esimerkiksi maa-aineshiukkasia tai kiinteää materiaa, kuten levää, siitepölyä tai planktonia, sitä lyhyemmän matkan valo pystyy vedessä kulkemaan. (YSI 2019.) Sameutta voi siis aiheuttaa vedessä oleva kiintoaine. Kiintoaine puolestaan voi sisältää ravinteita kuten fosforia. Jatkuvatoimisia sameusmittauksia onkin tutkittu yhtenä keinona ennustaa vesistöjen fosforikuormitusta kustannustehokkaasti (Lannergård et al. 2019; Irvine et. al 2019).

Jatkuvatoimisten mittausten lisäksi mittauspisteestä otettiin vesinäytteitä kahden eri monitorointijakson aikana yhteensä 12 kertaa. Näytteitä otettiin noin kahden viikon välein. Samassa yhteydessä sondi puhdistettiin ja sen toiminta tarkastettiin. Näytteenottoa ei ajoitettu säätilan tai sateen mukaan. Näytteistä analysoitiin muun muassa kokonaisfosfori standardin SFS 3026 mukaisesti sekä kiintoaine standardin SFS-EN 872 mukaisesti. Näitä tuloksia verrattiin YSI-sondin sameusmittaustuloksiin ja etsittiin korrelaatiota sameuden kohoamisen ja kiintoainepitoisuuden tai toisaalta fosforipitoisuuden välillä.

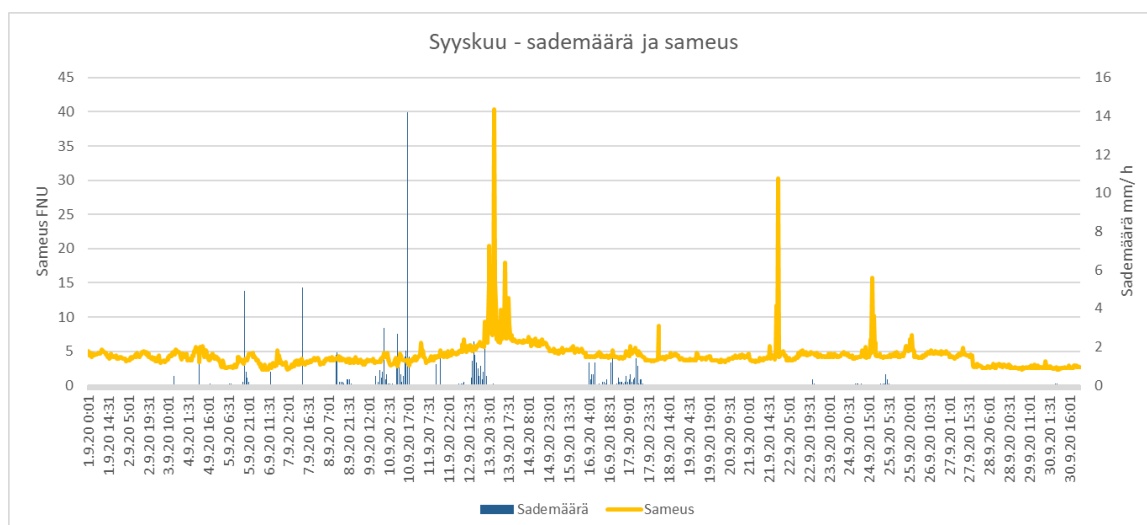
Sateen vaikutus jokiveden sameuteen syksyllä 2020

Sadannan ja Hanhijoen veden sameuden välistä yhteyttä tarkasteltiin monitorointijaksoilla kuukausitasolla. Ensimmäisen monitorointijakson alku syksyllä 2020 (26.8.-9.11.2020) oli hyvin vähäsateinen. Elokuun sademäärä Mikkelin lentokentän mittausasemalla oli 24,3 mm ja havaintojaksolla 26.–31.8. ainoastaan 2,5 mm. Elokuussa 2020 veden sameus vaihteli välillä 4,01–6,8 FNU ja sameuden keskimääräinen arvo oli 5,23 FNU. Vähäisillä sateilla ei ollut vaikutusta sameusarvoon, kuten voidaan havaita kuvasta 1. VEMALAn simuloitu virtaama elokuun lopussa oli alle 0,02 m³/s.



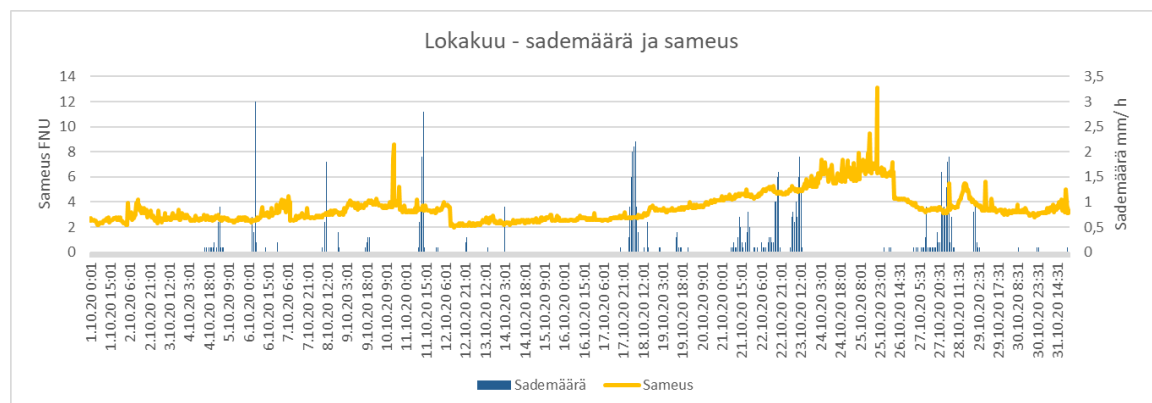
Kuva 1. Elokuun 2020 monitorointijakson tiedot

Syyskuun 2020 sademäärä oli Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan 85,1 mm. Erityisen paljon vettä satoi 10.9.2020, jolloin tunnin sademäärä oli 14,2 mm ja sateen intensiteetti kahden peräkkäisen tunnin aikana 9,8 ja 7,9 mm/h. Kyseinen sadetapahtuma näkyy selvästi myös mitatun sameusarvon nousuna kuvassa 2. Ajallinen viive sateen ja sameusarvon nousun välillä on noin 10 h. Syyskuussa sameuden keskimääräinen arvo oli 4,29 FNU ja maksimiarvo 40,40 FNU ja minimiarvo 2,30 FNU. Sameusarvo alkaa laskea syyskuun loppupuolella.



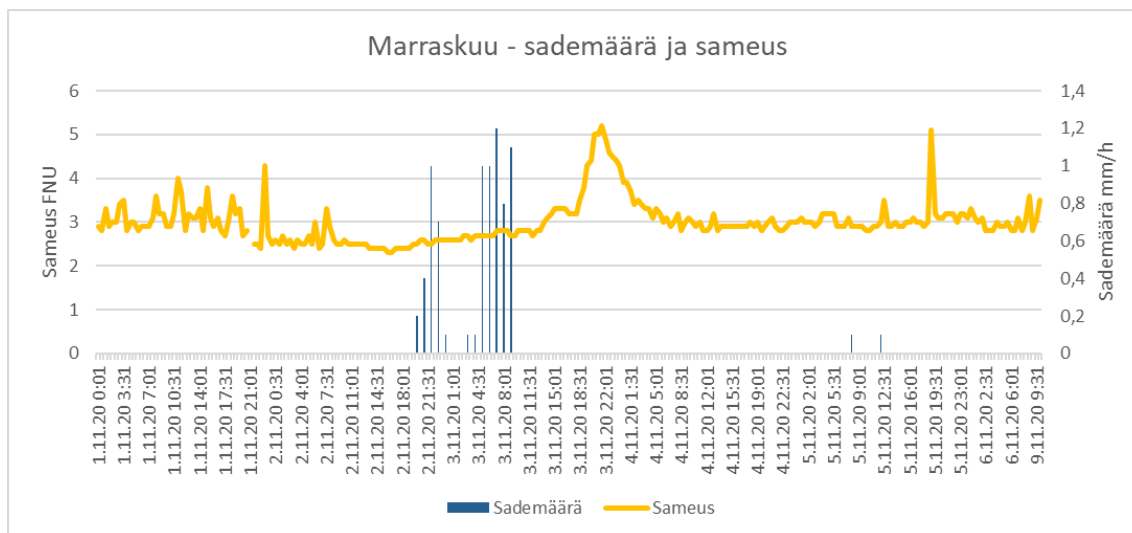
Kuva 2. Syyskuun 2020 monitorointitulokset

Lokakuun 2020 sademääriä ja sameusarvoja tarkastellessa voidaan huomata, ettei sateen ja sameuden välinen suhde ole yksiselitteinen (kuva 3). Lokakuun alkupuolella ei sateen ja sameuden välillä näytä olevan juurikaan riippuvuussuhdetta. Sameusarvo vaihtelee välillä 2-4 FNU, ainoastaan 10.10.2020 kuvaajassa näkyy yksittäinen piikki, ja sameusarvo nousee hetkellisesti yli 8 FNU:n. Jos tarkastellaan syyskuun kuvaajaa (kuva 2) ja lokakuun kuvaajan alkua, voidaan havaita, että sademäärät ovat vähäisiä. Tämä tarkoittaa sitä, että maaperä on todennäköisesti ollut kuivaa ja suuri osa sateesta on imeytynyt maahan. Lokakuun lopussa sademäärät olivat suurempia ja sateet pitkäkestoisempiä. Kuvaajasta voidaan havaita, että 17.10.2020 sademäärä näyttäisi vaikuttavan sameuden keskimääräisen arvon nousuun. Lokakuun loppupuoliskon kuvaajaa tarkasteltaessa sateella vaikuttaa olevan vaikutusta sameusarvoon. Lokakuun lopussa kasvillisuus on jo lakastunut, eli pintavalumana vesistöön päätyvän sadetveden osuus kasvaa. Myös haihtuvuus on loppusyksystä pienempää kuin keuhka-aikaan.



Kuva 3. Lokakuun sademäärä ja sameusarvon muutos

Monitorointijakso päättyi 9.11.2020. Marraskuun alkupuolen monitorointitulokset sademäärän ja sameusarvon muuttumisen suhteen on esitetty kuvassa 4. Marraskuussa vähäiselläkin sademäärällä näyttäisi olevan vaikutusta sameusarvon kasvuun. Marraskuun alkupuoli 2020 oli suhteellisen lämmin, havaintojakson aikana korkein lämpötila oli Ilmatieteenlaitoksen säätilastojen mukaan +11,2 °C, ja ilman suhteellinen kosteus sameusarvon noustessa 3.11.2020 96–98 %. Sadetveden haihtumista ei siis juurikaan tapahdu, eikä myöhään syksyllä ole myöskään kasvillisuutta käyttämässä ja pidättämässä sadetettä.

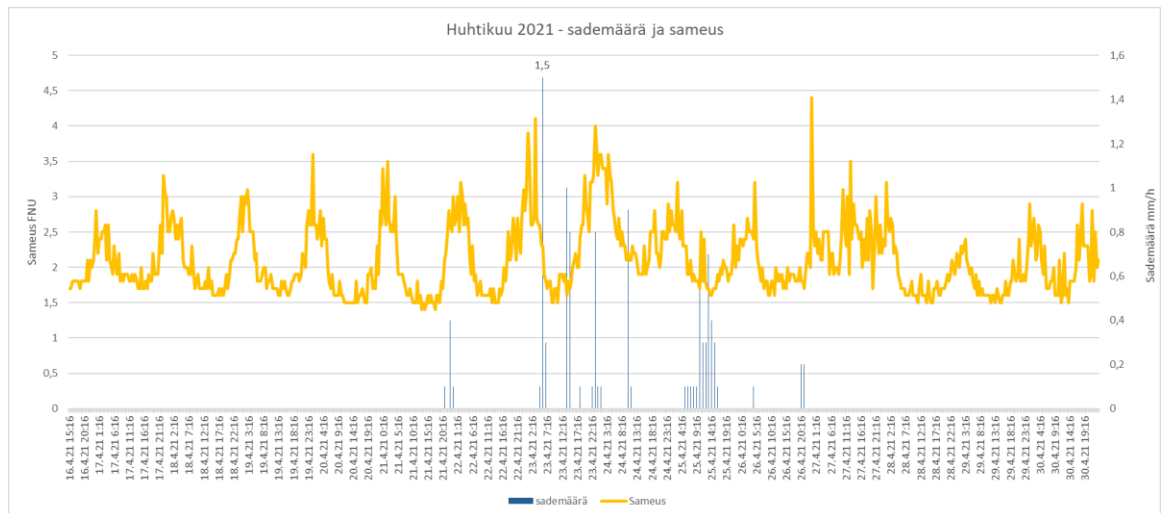


Kuva 4. Sateen ja sameusarvon välinen suhde marraskuussa 2020

Sateen vaikutus jokiveden sameuteen keväällä ja alkukesästä 2021

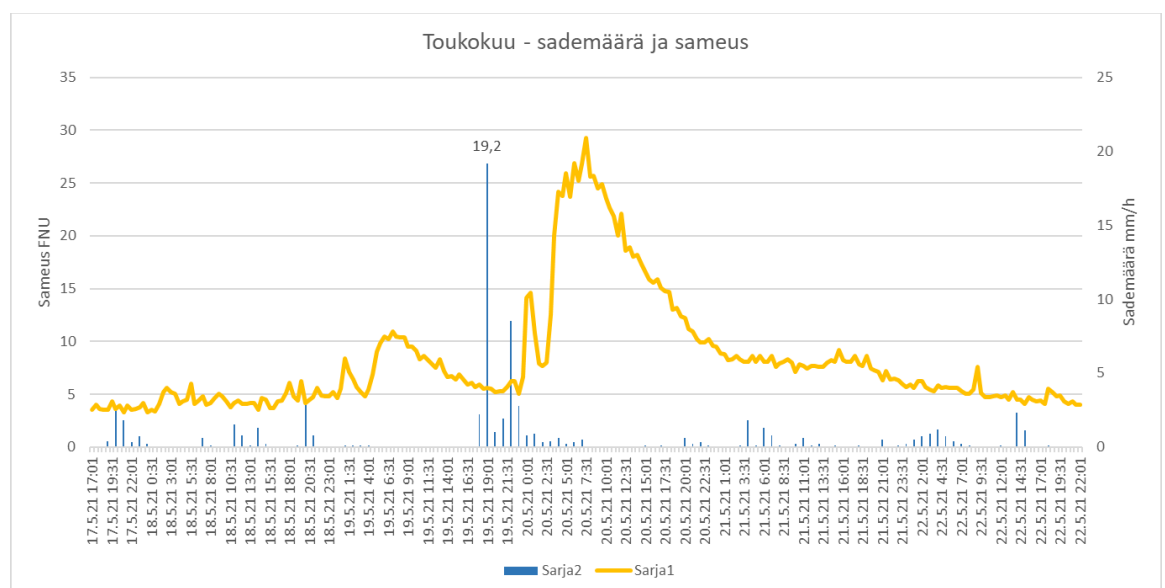
Hanhijoen veden laadun monitorointia YSI 6920-V2 jatkuvatoimisen sondin avulla jatkettiin keväällä 2021. Sondi vietiin joelle 16.4.2021 ja asennettiin samaan pisteeseen kuin aiemmin. Monitorointia jatkettiin heinäkuun alkuun. Kuten myös aiemman monitorointijakson aikana jokivedestä otettiin vesinäytteitä, joista määritettiin muun muassa kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet noin kahden viikon välein. Samalla sondi puhdistettiin ja sen käyttökunto tarkastettiin.

Huhtikuussa 2021 sademäärät olivat hyvin pieniä, eikä sateella näyttäisi olevan vaikutusta sameusarvoihin. Päivälämpötilat olivat nollan yläpuolella, mutta öisin lämpötila laski vielä pakkaselle. Maastossa oli runsaslumisen talven jäljellä runsaasti sulamisvesiä. Lämpötilan aiheuttama valunnan vaihtelu näkyy selvästi sameuden vuorokautisen arvon vaihteluna kuvassa 5. Kuvaajan avulla voidaan päätellä, että valunta ja samalla sameuden arvon muutos seuraa lämpötilan muutosta viiveellä, sillä sameusarvot ovat monesti korkeimmillaan illalla tai aamuyöstä. VEMALA-aineiston mukaan Hanhijoen virtaama oli huhtikuussa 2021 keskimäärin 2,11 m³/s.



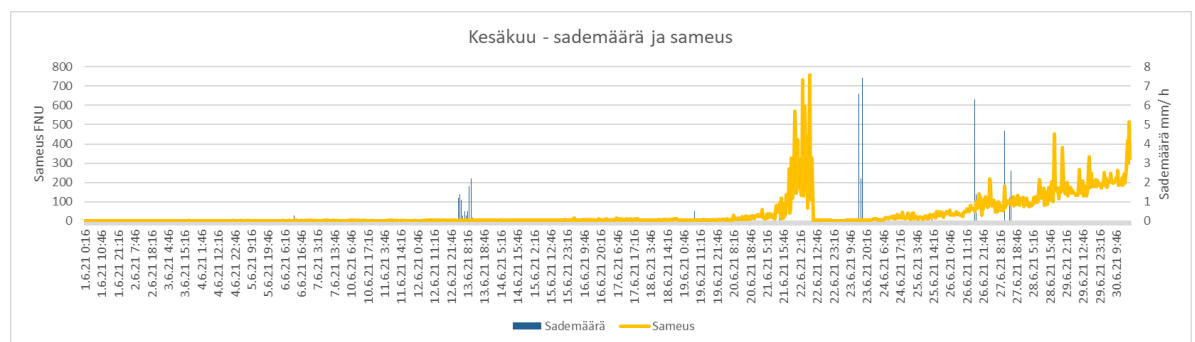
Kuva 5. Sademäärät ja sameus huhtikuussa 2021

Huhtikuun loppu sekä toukokuun alku olivat hyvin vähäsatteisia kuten kuvaajista voidaan havaita. Tarkasteltaessa kuvaajan avulla (kuva 6) sademääriä 7.5., 15.5. ja 19.5. ja sademäärien vaikutusta veden sameusarvoon, voidaan havaita, että sateen ja sameusarvon kohoamisen välillä on selvä riippuvuussuhde. Tämä näkyy erittäin selvästi etenkin 19.5. sateen jälkeen. Kyseisenä päivänä sade oli rankkaa, sillä Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan tunnin sademäärä oli 19,2 mm ja sateen intensiteetti 20,1 mm/h. YSI-sondin mittaustulosten perusteella sameusarvon nousu alkoi noin 6 h sateen alkamisen jälkeen ja korkein sameuspiikki saavutettiin noin 12 h kuluttua rankimman sateen päättymisestä.



Kuva 6. Toukokuun 2021 sademäärät ja sameusarvon muutokset

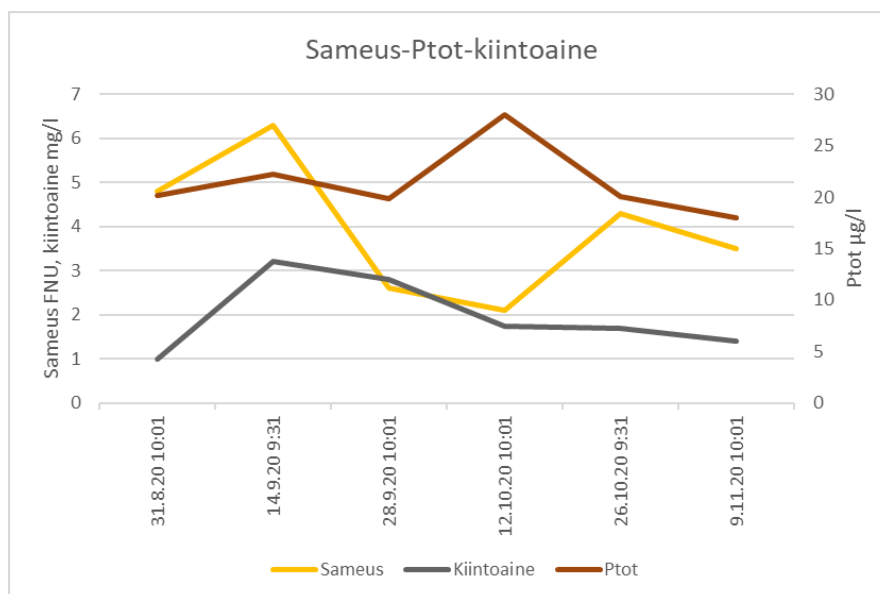
Tarkasteltaessa kesäkuun 2021 kuvaajaa (kuva 7), voidaan havaita, että YSI-sondi on mitannut selvästi tavallisuudesta poikkeavia sameusarvoja 21.-22.6.2021. Korkein sameusarvo kyseisellä aikavälillä on ollut 571 FTU. Tätä ei voida pitää luotettavana tuloksena, vaan kyseessä on todennäköisesti joessa ajelehtinut roska, vesikasvi tms., joka on jäänyt kiinni sondiin ja aiheuttanut virheelliset mittausravot. Sondin puhdistamisen jälkeen 22.6. sameusarvo on jälleen palannut normaaliksi. Kesäkuun mittausjakson loppupuolella voidaan havaita sameusarvossa ilmeisesti anturin likaantumisen aiheuttanutta ryömintää, eivätkä mittausjakson loppuosan arvot ole käyttökelpoisia tarkastelun kannalta.



KUVA 7. Kesäkuun 2021 sademäärä ja sameusarvo

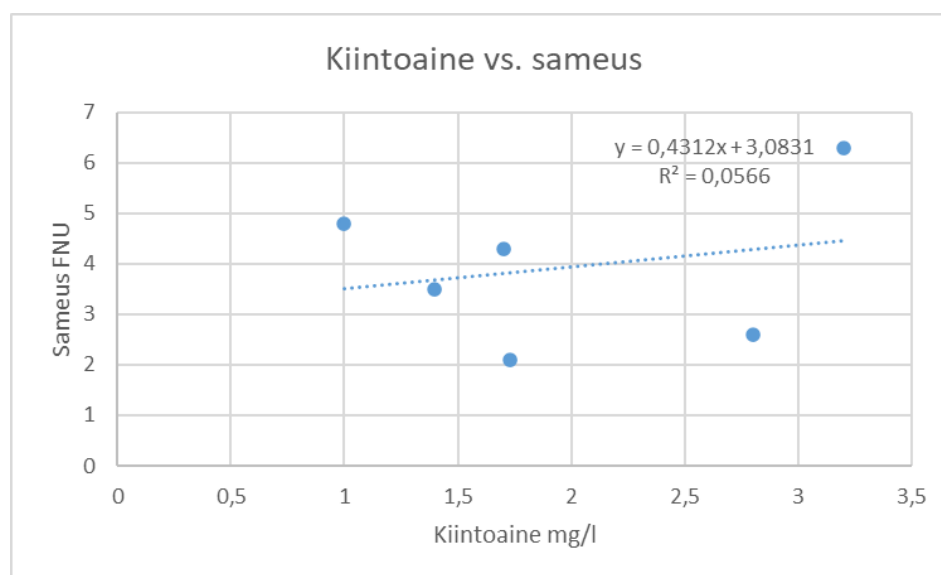
Sameus, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuus

Kuten aiemmin on todettu, tehtiin Hanhijoella jatkuvatoimisen monitoroinnin ohella myös näytteenottoon perustuvaa monitorointia. Vesinäytteitä otettiin mittauspisteestä noin kahden viikon välein ja niistä määritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa muun muassa kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Näytteenottoa ei ajoitettu sateiden mukaan. YSI-sondin mittaamaa sameusarvoa näytteenottohetkellä verrattiin laboratoriomääritysten tuloksiin ja niiden välistä korrelaatiota tarkasteltiin Excel-kuvaajien avulla. Syksyn 2020 monitorointijakson kuvaaja on esitetty kuvassa 8.



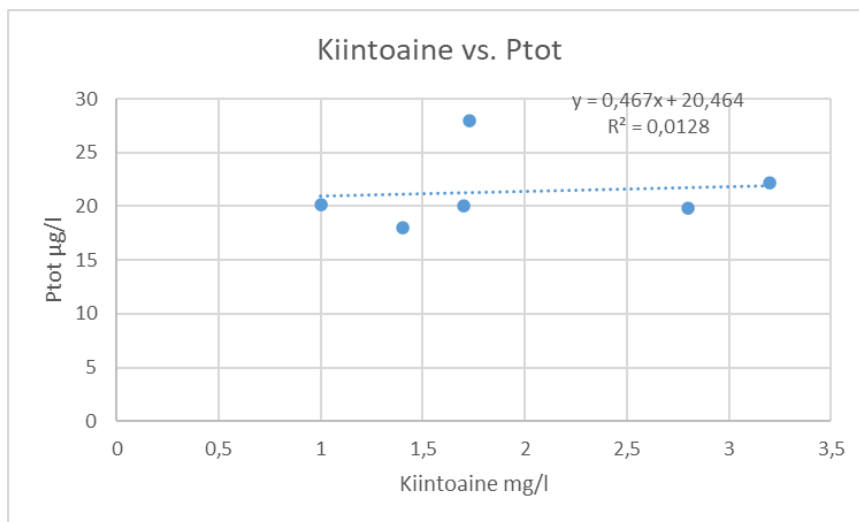
Kuva 8. Kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja sameusarvot syksyllä 2020

Kuvaajasta voidaan havaita, että ainoastaan 14.9. näytteenoton kiintoaine- ja kokonaisfosforitulosten ja YSI-sondin sameusarvon välillä näyttäisi olevan jonkinlaista keskinäistä suhdetta. Kuitenkin jos tarkastellaan kiintoainepitoisuuden suhdetta sameuteen (kuva 9) tai toisaalta kokonaisfosforipitoisuuteen (kuva 10), voidaan havaita, ettei korrelaatiota käytännössä ole, tai ainakin se on hyvin pieni. Kiintoaineen ja sameuden välinen korrelaatiokerroin on 0,24 ja kiintoainepitoisuuden ja kokonaisfosforin puolestaan 0,11.



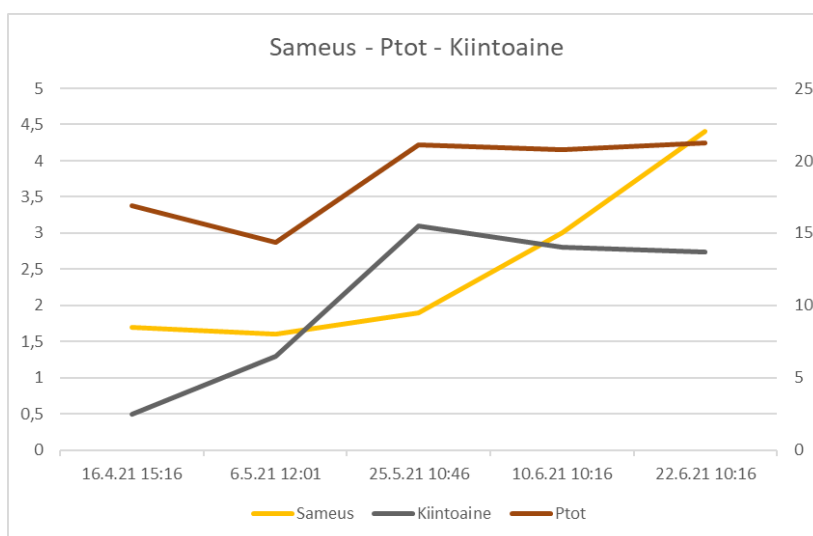
Kuva 9. Kiintoainepitoisuuden ja sameuden välinen korrelaatio syksyllä 2020

Kiintoainepitoisuuden ja sameuden välinen korrelaatiokerroin R on 0,24, eli käytännössä kiintoainepitoisuus selittää 24 % sameuden varianssista (Kvanti-MOTV). Tarkasteltaessa kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välistä korrelaatiota, voidaan havaita sen olevan heikompi, käytännössä lähellä nollaa.



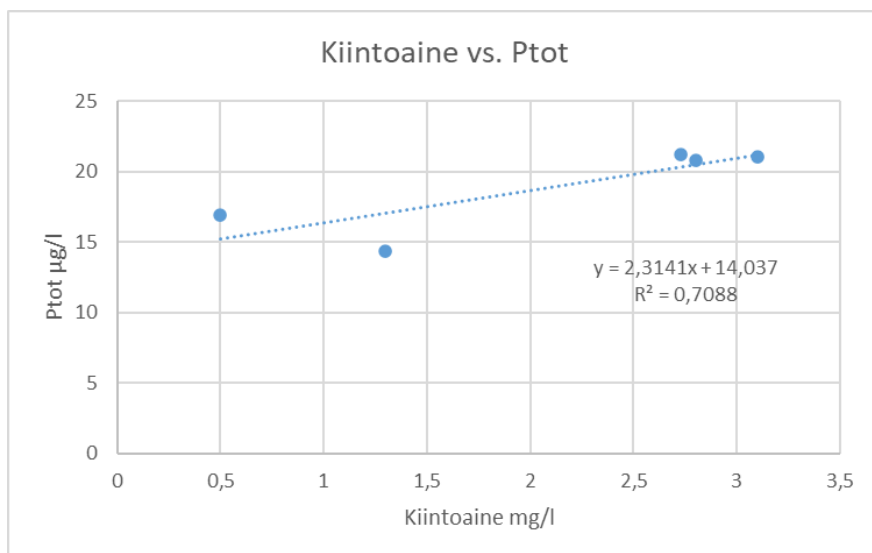
Kuva 10. Kiintoaineen ja kokonaisfosforipitoisuuden välinen korrelaatio syksyllä 2020

Kevään 2021 monitorointijakson sameus-, kokonaisfosfori ja kiintoainepitoisuuksia samassa kuvaajassa tarkasteltaessa vaikuttaisi etenkin kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välillä olevan melko selkeä riippuvuussuhde.



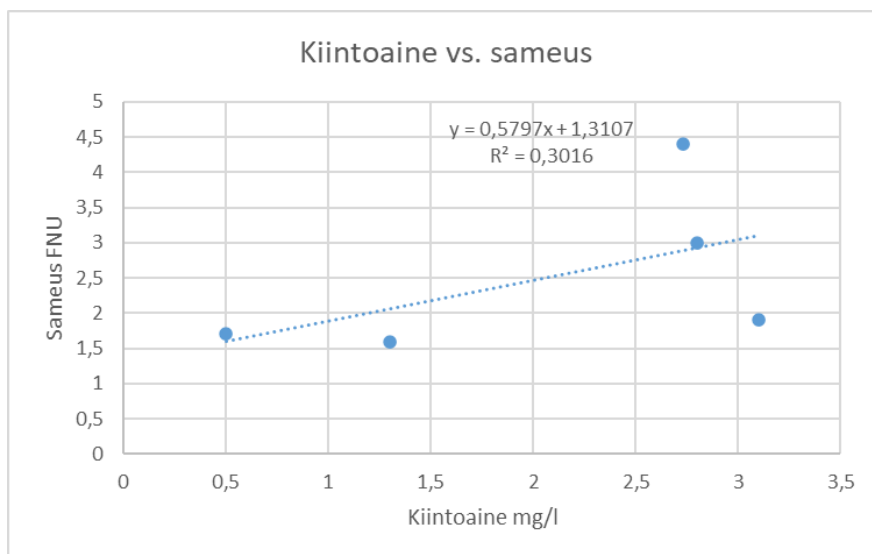
Kuva 11. Kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja sameusarvot keväällä 2021

Tämä voidaan tarkemmin todeta kuvasta 12. Kyseisten muuttujien välinen korrelaatiokerroin R on 0,84, eli kiintoainepitoisuuden voidaan sanoa selittävän kokonaisfosforipitoisuuden noin 84 %.



Kuva 12. Kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välinen korrelaatio keväällä 2021

Kiintoaineen ja sameuden välillä korrelaatiokerroin R on puolestaan 0,55. Tämä tarkoittaa sitä, että näiden analyysien ja mittaustulosten perusteella kiintoainepitoisuus selittää sameusarvon noin 55 % tarkkuudella.



Kuva 13. Kiintoainepitoisuuksien ja sameuden välinen korrelaatio keväällä 2021

Yhteenveto

Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että sateen ja sameusarvon kohoamisen välillä on selkeä syy- ja seuraussuhde ainakin useimmiten. Sateen vaikutus sameusarvoon riippuu sekä sateen määrästä että intensiteetistä. Vaikutus näyttäisi lisäksi olevan erilainen eri vuodenaikoina. Tämä johtuu luonnollisesti sekä kasvillisuuden määrän vaihtelusta, vallitsevasta ilmankosteudesta sekä sadetta edeltävästä säätilasta. Kuivaan maahan satava rankkasade aiheuttaa selkeimmän sameusarvon kohoamisiikin. Myöhään syksyllä tuleva rankkasade aiheuttaa myös sameuden jyrkän kohoamisen, tämä johtuu siitä, että maastossa ei enää ole vettä pidättävää kasvullisuutta ja suhteellinen ilmankosteus on tyypillisesti korkea.

YSI-sondin mittaaman sameuden ja toisaalta laboratoriossa analysoitujen kiintoaine- ja fosforipitoisuuksien välillä ei näyttäisi olevan selkeää korrelaatiota syksyn 2020 tuloksia tarkasteltaessa. Kevään 2021 tulosten osalta tilanne on toinen, sillä etenkin kiintoaine- ja fosforipitoisuuksien välillä on selkeä korrelaatio, eli niiden välinen korrelaatiokerroin oli kevään 2021 monitorointijaksolla 0,84 ja kiintoaineen ja sameuden välinen korrelaatiokerroin 0,55. On kuitenkin huomioitava se, että monitorointijaksot olivat melko lyhyet ja näytteenotokertoja oli vähän. Jotta riippuvuussuhdetta voitaisiin tarkastella pitävästi, tulisi näytteenottoja olla huomattavasti enemmän ja monitorointijaksojen olisi oltava pidempiä. Tällöin saataisiin selville joen vedenlaadussa tapahtuvat muutokset ja osattaisiin myös jättää tarkastelusta pois tulokset, jotka vaikuttavat virheellisiltä.

On lisäksi huomioitava, että mittauksissa, näytteenotossa ja analyyseissä on aina virheen mahdollisuus. Tästä syystä monitoroinnissa käytettävien mittalaitteiden kalibroinnissa ja käytössä sekä toisaalta näytteenotossa ja analyyseissä on noudatettava hyviä käytäntöjä sekä pyrittävä suorittamaan näytteenotto ja näytteiden analysointi vakiintuneella tavalla ja standardien mukaisesti.

Lähteet

Haakana, H. 2018. Vesistöopas. Freshabit LIFE IP -hankkeen julkaisu. [Saata-
villa: https://www.sll.fi/app/uploads/2018/08/vesisto_opas_netti_2018.pdf](https://www.sll.fi/app/uploads/2018/08/vesisto_opas_netti_2018.pdf)

Irvine, C.A., Backus, S. Cooke, S., Dove, A. Gewurtz, S. 2019. Application of continuous turbidity sensors to supplement estimates of total phosphorus concentrations in the Grand River, Ontario, Canada. Journal of Great Lakes Research 45 (2019), s. 840-849.

Kosonen, M., Puhakainen, L., Ustinov, A., Huttunen, A., Turtiainen, P. 2021. Hanhिलammen hoito- ja käyttösuunnitelma 2021-2036. Saatavilla: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/08/Hanhilammen-hoito-ja-kayttosuunnitelma.pdf>

KvantiMOTV. Korrelaatio ja riippuvuusluvut. Saatavilla: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html#pearson>

Lannergård, E.E., Ledesma, J.L.J., Fölster, J., Futter, M.N. 2019. An evaluation of high frequency turbidity as a proxy for riverine total phosphorus concentrations. Science of the Total Environment 651/2019, s. 103-113.

Sito 2016. Mikkelin kantakaupungin ekosysteemipalvelut ja viherrakenne 2016. [Saata-
villa: http://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/
05/20160805 Mikkelin ESP Raportti.pdf](http://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/05/20160805_Mikkelin_ESP_Raportti.pdf)

VALUE s.a. Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. Saatavilla: [http://paikka-
tieto.ymparisto.fi/value/](http://paikka-tieto.ymparisto.fi/value/)

Ymparistö 2020. Hulevesien hallinnan kehittäminen. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/hulevedet>

YSI 2019. How turbidity sensors work. Webinar 9.7.2019. Saatavilla: <https://www.ysi.com/parameters/turbidity>

Artikkeli nro 2. Ilmestynyt Metsä, ympäristö, ja energia painoalan vuoden 2021 vuosijulkaisussa. Julkaisun pysyvä osoite on: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-408-9>

SADEMÄÄRÄT JA JATKUVATOIMISET MITTAUKSET MIKKELIN HANHIJOELLA

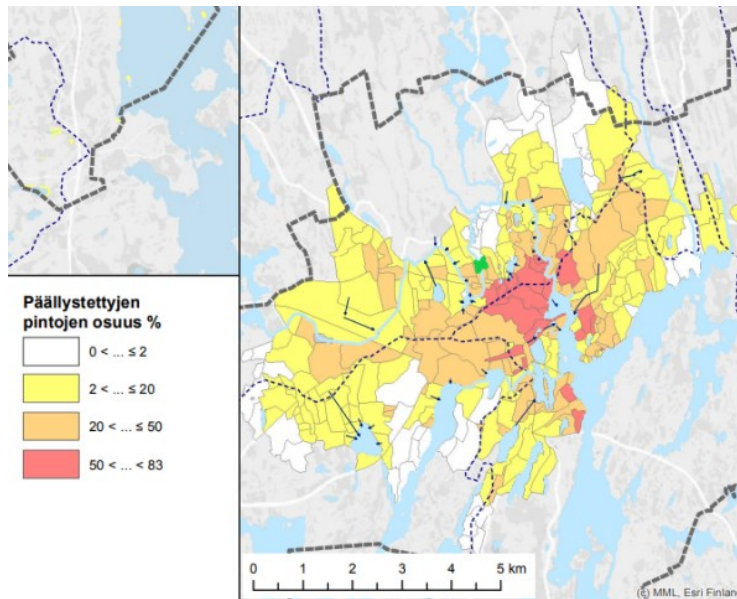
Tuija Ranta-Korhonen

Johdanto

Artikkeli pohjautuu Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea -LUGABALT2 -hankkeessa Mikkelin Hanhijoella toteutetun veden laadun monitoroinnin tuloksiin. Monitorointia tehtiin sekä jatkuvatoimisen vesistösondin että näytteenoton avulla. Monitoroinnin suorittivat projektipäällikkö Tuija Ranta-Korhonen ja tutkimusinsinööri Marina Markova. Monitorointijaksoja oli kaksi. Jaksoista ensimmäinen ajoittui syksyyn 2020 (26.8.-9.11.2020) ja toinen toteutettiin keväällä 2021 (16.4.-1.7.2021). Artikkelissa tarkastellaan sateen ja valumien vaikutusta online-sondin mittaamiin sähkönjohtokyvyn, pH:n, lämpötilan ja happipitoisuuden arvoihin, sekä sateen ja kyseisten arvojen muutoksen välistä viivettä. Tarkastelussa hyödynnetään myös VEMALAn simuloituja arvoja virtaamien osalta. Lisäksi hyödynnettiin Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa ilman lämpötilan, sademäärien ja sateen intensiteetin osalta.

Mikkelin Hanhijoki

Hanhijoki on osa Vuoksen vesistöalueeseen kuuluvaa Seitsennimistä jokea. Seitsenniminen joki saa alkunsa Mikkelin Otavassa sijaitsevasta Iso-Kirveslamesta ja laskee Saimaan Savilahteen Mikkelin keskusta-alueen läheisyydessä. Hanhijoen valuma-alue on pinta-alaltaan noin 63 km² (VALUE). Corine 2012 -laskenta-aineiston mukaan alueen pinta-alasta asuinalueet kattavat noin 5 %, teollisuuden, palvelun ja liikenteen alueita on 6,1 %, virkistysalueita 2,5 %, viljelysmaita 4,5 % ja erilaisia metsämaita hieman yli 79 % alueesta. (VALUE). Koska joki virtaa kaupunkialueen läpi on osa sen valuma-alueesta rakennettua aluetta. Kuvassa 1 on nähtävillä päällystettyjen pintojen osuus Mikkelin kaupunkialueella.



Kuva 1. Päällystettyjen pintojen osuus Mikkelin kaupunkialueella (Sito 2016)

Hanhijoki ja tässä artikkelissa käytetty mittauspiste on merkitty karttaan vihreänä pisteinä. Kartta on vuodelta 2016, minkä jälkeen päällystettyjen pintojen osuus Hanhijoen valuma-alueella on kasvanut erilaisten rakennusprojektien myötä.

Valuma-alueen maankäyttö ja kasvillisuus vaikuttavat veden kiertokulkuun. Mikäli valuma-alue on luonnontilassa, päätyy sateesta noin 10 % vesistöön pintavaluntana, noin 40 % imeytyy maahan ja noin puolet haihtuu (Haakana 2018). Nämä prosentuaaliset osuudet luonnollisesti vaihtelevat vuodenajan ja säätilan mukaan. Kaupunkialueella veden luonnollinen kiertokulku häiriintyy ja päällystetyillä pinnoilla syntyvä hulevesi lisää vesistöihin päätyvää valuntaa, etenkin jos hulevesien käsittely on järjestetty puutteellisesti. Hulevesien sisältämät haitta-aineet, kuten esimerkiksi ravinteet, roskat ja muut epäpuhtaudet heikentävät purkuvesistöjen ja pohjavesien tilaa (Ymparistö 2020). Hanhijokeen johdetaan hulevesiä ainakin Tuskun ja Lehmuskylän kaupunginosista (Kosonen ym. 2021). Myös Rantakylän alueella syntyviä hulevesiä päätyy jokeen.

Jatkuvatoimiset mittaukset ja mitattavat parametrit

Jatkuvatoimisissa mittauksissa käytettiin YSI 6920-V2 -vesistösondia, joka oli varustettu lämpötila-, sähkönjohtokyky-, happi-, pH- sekä sameusantureilla.

Koska sameuden mittausta on käsitelty artikkelissa *Jatkuvatoiminen sameusmittaus sekä kiintoaine- ja fosforipitoisuudet Mikkelin Hanhijoella*, keskitytään tässä artikkelissa muihin muuttujiin.

Vedestä mitattava sähkönjohtavuus kuvastaa vedessä ionimuodossa liuenneina olevien suolojen määrää. Sähkönjohtavuuden arvo ei luontaisesti juuri-kaan vaihtele, vaan se on vesistölle tyypillinen suure. Jokivesille tyypillinen sähkönjohtavuus on 10–20 mS/m eli 100–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Oravainen 1997.) Sisävesissä sähkönjohtavuutta voi lisätä esimerkiksi talvella teiden suolauksessa käytettävä natriumkloridi, joka päätyy hule- ja sulamisvesien mukana vesistöihin. Kloridilla on epäilty olevan moninaisia vaikutuksia vesistöympäristössä, sen on muun muassa todettu vähentävän monimuotoisuutta ja suosivan kasviplanktonin, erityisesti sinilevän määrän kasvua. Lisäksi sen on todettu häiritsevän vesistöjen omia puhdistumisprosesseja vähentämällä ravinteiden kertymistä kasvillisuuteen, heikentämällä denitrifikaatioprosessia sekä hidastamalla orgaanisen aineen hajoamista. (Szklarek ym. 2022.)

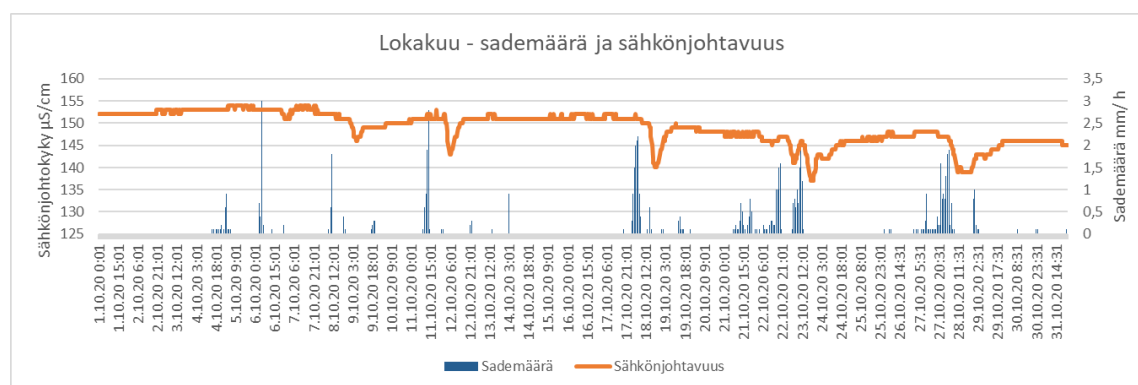
Vesien happamuudella eli pH:lla on suuri merkitys vesieliöstön esiintyvyydelle ja lisääntymiselle. Suotuisa pH-alue eliöille on 6–8. Suomen vesistöissä humus aiheuttaa vesien lievää happamuutta, eli pH on tyypillisesti 6,5–6,8. Veden pH-arvossa on tyypillisesti jonkin verran vuodenaikaisvaihtelua siten, että pH:n arvo on talviaikaan alempi. Korkea pH-arvo saattaa indikoida esimerkiksi leväkukintaa. (Oravainen 1999.) Hanhijoen veden pH-arvossa on tapahtunut muutosta happamasta neutraalimpaan suuntaan 1990-luvulta lähtien (pH-arvon muutos 6,2 \rightarrow 6,8). Tämä saattaa olla merkinä joen rehevöitymisestä. (Kosonen ym. 2020.) Sadevesi on monesti hapanta, sillä se sisältää veden kanssa happoja muodostavia rikki- ja typpiyhdisteitä. Hulevesi puolestaan on tavallisesti emäksisempää kuin sadevesi. Tämä johtuu siitä, että hulevettä muodostuu erilaisilla päällystetyillä pinnoilla, kuten betonilla ja vesi huuhtoo pinnoista mukaansa kalkkia. (Duncan 1999, Messenger 1986, Dempsey ym. 1993, Airola ym. 2014 mukaan.)

Liukoisien hapen määrän mittaustuloksen jokivedessä YSI-sondi ilmoittaa kahden eri suureen avulla, eli prosentuaalisena kyllästysasteena sekä pitoisuutena mg/l. Veden happipitoisuus on riippuvainen veden lämpötilasta, sillä kylmään

veteen liukenee enemmän happea. Toisin sanoen sama suurella mg/l ilmoitettu happipitoisuus tarkoittaa eri veden lämpötiloissa erilaista hapen kyllästysastetta. (Oravainen 1999, 1.) Ilmakehästä liukenevan hapen lisäksi veden happipitoisuutta lisäävä tekijä on levien ja makrofytytien yhteyttämisen tuloksena syntyvä happi. Vesistöihin päätyy myös happea sade- ja sulamisvesien mukana. (Kettunen ym. 2008.)

Sateen vaikutus eri muuttujiin syksyllä 2020

Tarkasteltaessa sadetapahtumia, sademääriä ja Hanhijoen veden sähkönjohtavuuden muutoksia, vaikuttaisi siltä, että sateella on selvä vaikutus sähkönjohtavuuden arvoon. Tämä näkyy selvästi kuvassa 2, jossa on esitetty kuvaajan muodossa sähkönjohtavuuden arvon vaihtelu lokakuussa 2020 sekä kyseisen kuukauden sateet ja sademäärät.

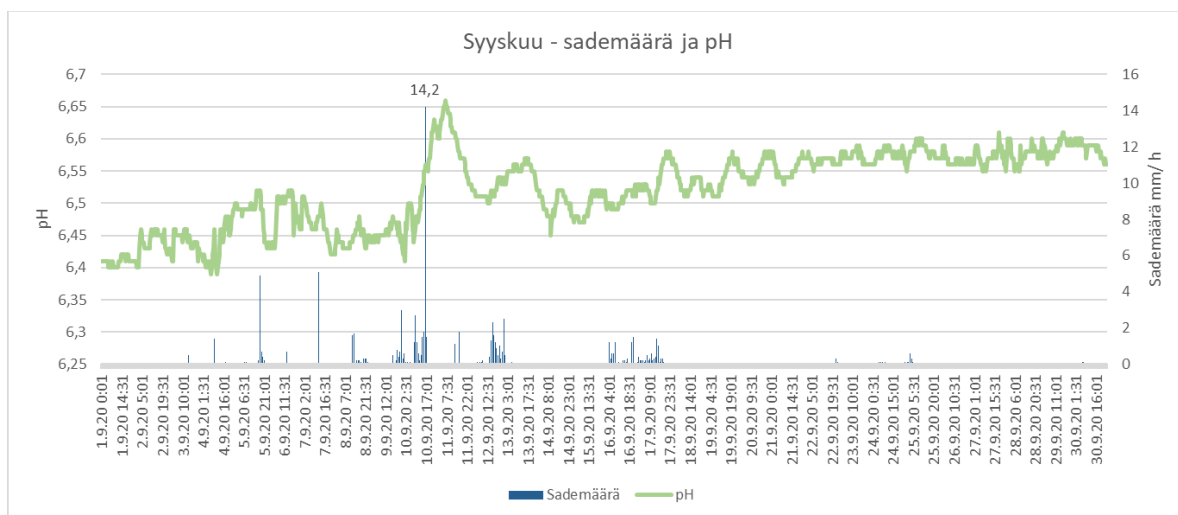


Kuva 2. Lokakuun 2020 sateet ja sähkönjohtavuuden muutos

Kuvaa tarkasteltaessa huomaa selvästi, että sateella on selvästi veden sähkönjohtokykyä laskeva vaikutus. Sade aiheutti lokakuussa 2020 noin 4–10 mittayksikön suuruisen muutoksen sähkönjohtokykyyn arvoon. Lisäksi muutos näyttäisi olevan riippuvainen sateen kestoista, eli pitempikestoisen sade aiheuttaa suuremman sähkönjohtokykyyn laskun. Myös syys- ja marraskuussa 2020 sateen ja sähkönjohtokykyyn arvon muutos oli samankaltainen. Vaikuttaisi siis siltä, että syyskaudelta 2020 sade laimensi Hanhijoen vettä. Sateen ja sähkönjohtokykyyn muutoksen ajallinen viive oli hieman vajaa 1 vrk.

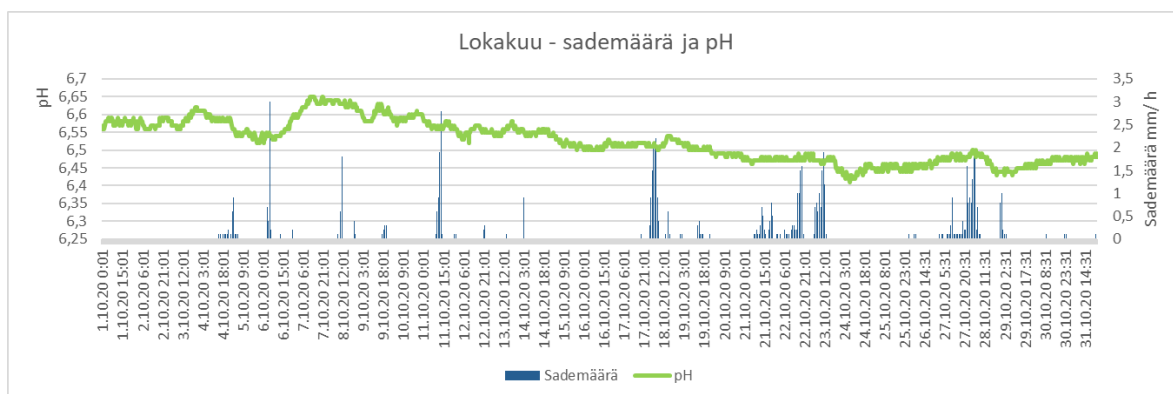
Sateen ja pH-arvon muutoksen välillä ei vaikuttaisi olevan yhtä selkeää vaikutussuhdetta. Syyskuussa sade näyttäisi nostavan pH-arvoa, kuten kuvassa 3

olevasta kuvaajasta voidaan havaita. On mahdollista, että rankan sateen aikana joen valuma-alueella on muodostunut hulevesiä, jotka ovat emäksisiä ja siten nostavat veden pH:ta. On lisäksi huomioitava, että elokuu 2020 oli vähäsateinen ja syyskuunkin sademäärä ennen 10.9. sateita oli pieni. Päälystetyillä pinnoilla on siis ollut huomattava määrä erilaisia epäpuhtauksia, jotka ovat huuhtoutuneet huleveden mukana jokeen. Toisaalta sadevesi saattaa myös olla emäksisempää kuin jokivesi ja tämän vuoksi rankka sade nostaa pH-arvoa.



Kuva 3. Sade ja pH-arvon muutos syyskuussa 2020

Jos tarkastellaan lokakuun 2020 mittaustulosten ja sademäärän pohjalta piirrettyä kuvaajaa kuvassa 4, voidaan havaita, että kyseisellä aikavälillä sateella vaikuttaisi olevan sekä pH-arvoa nostava että laskeva vaikutus. Tässä kohtaa on luultavasti merkitystä sateen intensiteetillä ja kestolla, sekä sillä kuinka kauan maahan päätyvä sade ehtii reagoimaan päälystettyjen pintojen sekä maaperän kanssa.



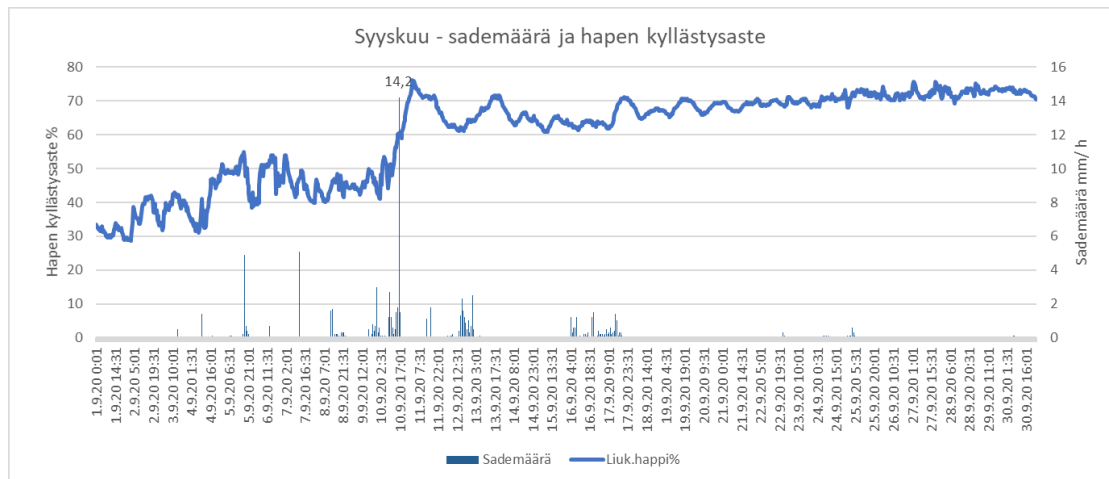
Kuva 4. Sade ja pH-arvon muutos syyskuussa 2021

Elokuun 2020 sademäärä oli Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan 29,4 mm. VEMALA-vesistömallijärjestelmän mukaan joen simuloitu virtaama vaihteli elokuun lopussa 26.-31.8.2020 välillä 0,014–0,019 m³/s. Sademäärät olivat siis pieniä ja virtaama oli pieni. Vesi joessa oli vähähappista, sillä hapen kyllästysaste oli enimmillään hieman yli 40 % (kuva 5). Mitatun hapen määrässä on nähtävissä lievää vuorokausivaihtelua. Tämä on todennäköisesti seurasta levien ja makrofyyttien yhteyttämistoiminnasta. Pienillä sademäärillä ei näyttäisi olevan ainakaan välitöntä hapen kyllästysastetta nostavaa vaikutusta.



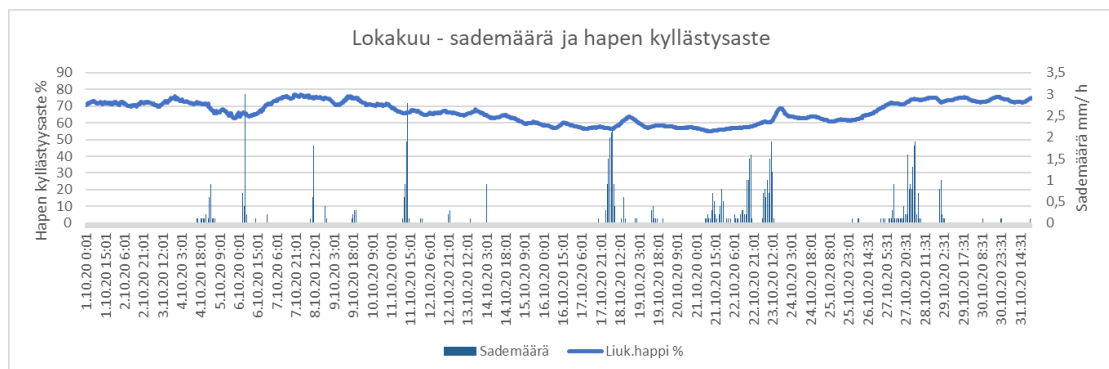
Kuva 5. Sademäärä ja hapen kyllästysaste elokuussa 2020

Syyskuun 2020 alussa veden happipitoisuus on edelleen matala, ja vasta saateet 9.9.–10.9. ja etenkin rankempi sadetapahtuma 10.9. (tunnin sademäärä 14,2 mm) näyttäisi nostavan jokiveden happipitoisuutta. Hapen kyllästysasteen muutos on esitetty kuvassa 6. Ennen sateen alkua veden happipitoisuus oli 5,13 mg/l ja kyllästysaste 48,3 %. Sateen jälkeen vastaavat arvot olivat 6,31 mg/l ja kyllästysaste 59,2 %. On huomioitava, että sade myös laski jonkin verran jokiveden lämpötilaa 12,60 °C asteesta 12,45 °C asteeseen.



Kuva 6. Sademäärä ja hapen kyllästysaste syyskuussa 2020

Lokakuun 2020 mittauksia tarkasteltaessa (kuva 7), voidaan havaita sateen nostavaan hapen kyllästysastetta jokivedessä. Nousu on kuitenkin melko hienovaraista ja yleisesti voidaan todeta veden happipitoisuuden olevan tyydyttävällä tasolla.

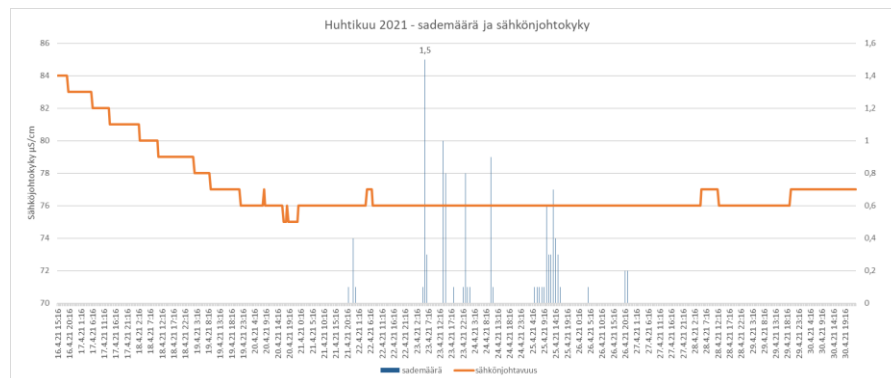


Kuva 7. Sademäärä ja hapen kyllästysaste syyskuussa 2020

Sateen vaikutus eri muuttujiin keväällä ja alkukesästä 2021

Ilmatieteenlaitoksen tilastojen mukaan termien kevät alkoi vuonna 2021 Mikkelin seudulla 24.3. Tyypillisesti lumi sulaa alueilta 2–3 viikon kuluttua termisen kevään alkamisesta ja metsämailta parisen viikkoa myöhemmin. (Ilmatieteenlaitos.) Sondi vietiin Hanhijoen mittauspisteeseen 16.4., jolloin maastossa oli vielä runsaasti sulamisvesiä ja VEMALA-vesistömallijärjestelmän mukaan joen virtaama oli noin 2 m³/s. Mittausjakson alussa veden sähkönjohtokyky on ollut 84 mS/cm ja vakiintunut huhtikuun 21. päivän tienoilla arvoon 77 mS/cm. Sulamisvesien voidaan siis sanoa laskeneen veden sähkönjohtokykyä,

toisaalta huhtikuun sateilla ei kuvassa 8 olevan kuvaajan perusteella olevan vaikutusta sähkönjohtokyvyn arvoon.



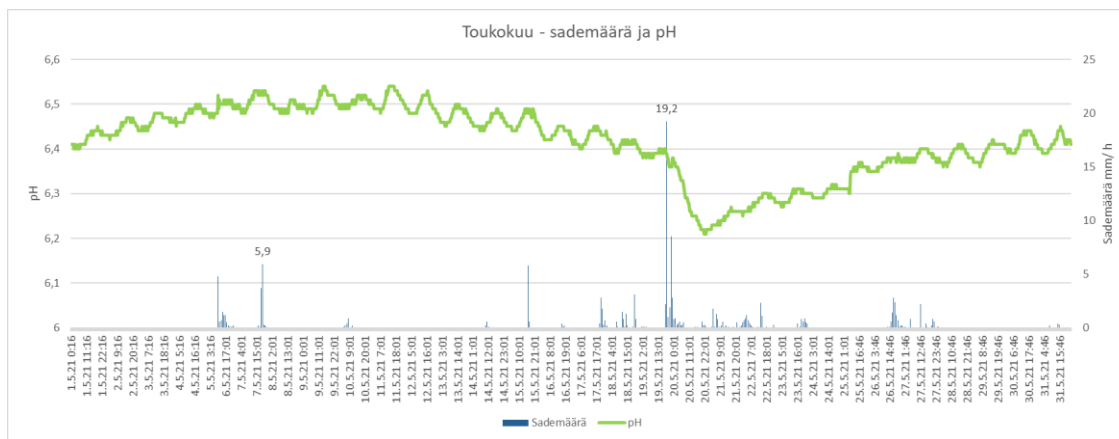
Kuva 8. Sademäärät ja sähkönjohtokyky huhtikuussa 2021

Toukokuussa 2021 veden sähkönjohtokyky pysyy hyvin tasaisena, kuten voidaan havaita kuvassa 9 olevasta kuvaajasta. Sähkönjohtavuuden arvo vaihtelee välillä 76–82 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Runsaalla sateella 19.5. näyttäisi kuvaajan perusteella olevan sähkönjohtokykyä laskeva vaikutus. Sähkönjohtokyvyn arvon lasku näyttäisi alkavan noin vuorokauden kuluttua rankimman sateen vaiheesta. Muutos on tosin erittäin pieni, eikä yksittäisen tapahtuman perusteella voida osoittaa selvää riippuvuussuhdetta.



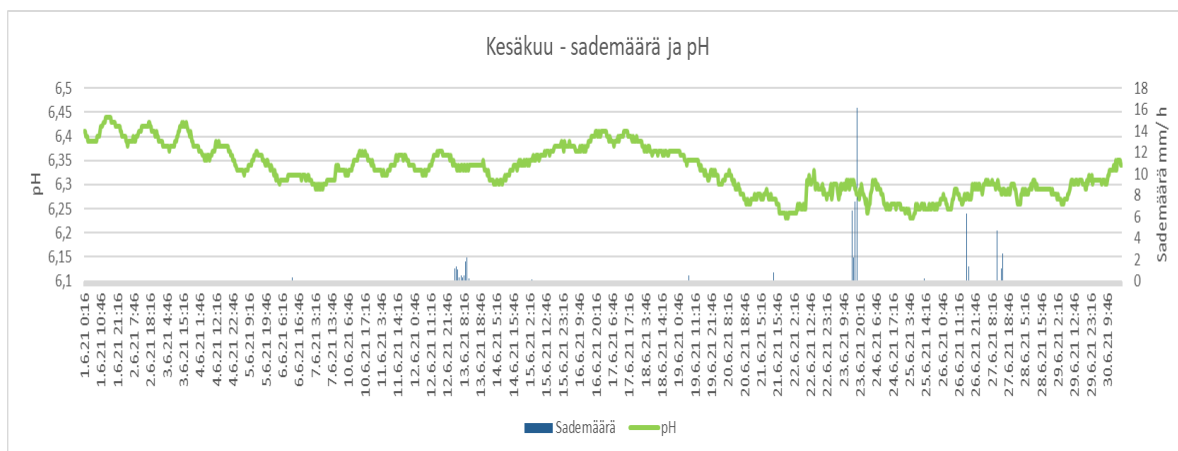
Kuva 9. Sademäärät ja sähkönjohtokyky toukokuussa 2021

Veden pH-arvon osalta voidaan sanoa, että toukokuun 19. päivän rankat sateet vaikuttavat laskevan veden pH-arvoa, kuten voidaan havaita kuvassa 10 olevasta kuvaajasta. pH näyttäisi alkavan laskea hyvin pian rankemman sateen vaiheen loppumisen jälkeen ja se on alimmillaan noin 6,2. Tulos on selvässä ristiriidassa aiemman monitorointijakson aikana saatujen tulosten kanssa. Kyse on kuitenkin ainoastaan yhdestä mittaustuloksesta.



Kuva 10. Sademäärät ja veden pH toukokuussa 2021

Kesäkuun kuvaajan (kuva 11) perusteella sateella näyttäisi olevan jonkin verran pH:n arvoa laskevaa vaikutusta. Tämä näkyy selvimmin runsaamman sateen jälkeen 23.6. Kyseisenä päivänä kolmen tunnin sademäärä oli ilmatieteenlaitoksen mukaan 16,2 mm. Sateen vaikutus ei kuitenkaan ole yksiselitteinen ja kaiken kaikkiaan voidaan todeta jokiveden pH:n olevan melko matalalla tasolla, sillä arvo vaihteli välillä 6,23–6,43.



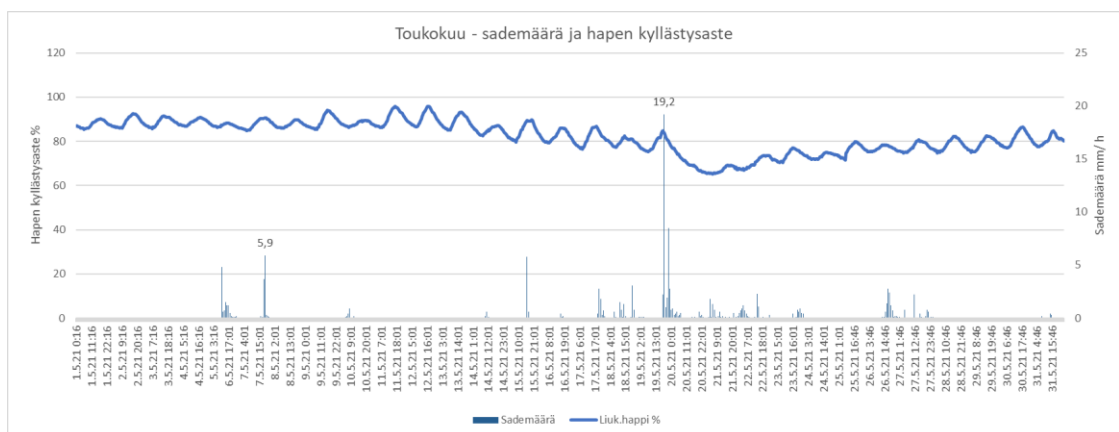
Kuva 11. Sademäärät ja veden pH kesäkuussa 2021

Tarkasteltaessa jokiveden hapen kyllästysastetta huhtikuun 2021 osalta, voidaan kuvassa 12 olevasta kuvaajasta havaita selvästi lämpötilan vaihtelun ja yöpakkasten aiheuttama kyllästysasteen vaihtelu. Hapen kyllästysaste nousee kuukauden loppua kohti ja tuolloin enimmillään noin 91 %.



Kuva 12. Sademäärä ja hapen kyllästysaste huhtikuussa 2021

Toukokuun kuvaajaa (kuva 13) tarkasteltaessa huomio kiinnittyy hapen kyllästysasteen laskuun runsaiden sateiden jälkeen 20.5. Tämä saattaa johtua siitä, että sadevesi on kuljettanut jokeen mukanaan runsaasti orgaanista alkuperää olevaa kiintoainetta (kiintoaineen määrän kasvuun viittaa samanaikainen saameusarvon nousu), jonka hajoaminen jokivedessä kuluttaa runsaasti happea. Toisaalta veden lämpötila on sateiden vaikutuksesta myös laskenut noin 3,5 °C (16,5 → 13 °C) ja happipitoisuus on samalla aikavälillä muuttunut 8,25 mg/l arvosta 6,92 mg/l.



Kuva 13. Sademäärä ja hapen kyllästysaste toukokuussa 2021

Yhteenveto

Monitoroinnin ja sen tulosten tarkastelun perusteella voidaan todeta, että yleensä sateella näyttäisi olevan vaikutusta eri veden laadun parametreihin ja

niiden muutokseen. Muutokset eivät kuitenkaan ole aina yksiselitteisiä. On runsaasti eri tekijöitä, jotka vaikuttavat muutoksen suuruuteen ja suuntaan. Tällaisia ovat esimerkiksi ilman lämpötila, sadetta edeltävän sateettoman kauden kesto ja sateen intensiteetti. Jokiveden kemialliset, fysikaaliset ja biologiset muuttujat ovat jatkuvassa keskinäisessä vuorovaikutuksessa.

On mielenkiintoista vertailla toteutetun kahden monitorointijakson tuloksia keskenään. Esimerkiksi veden sähkönjohtokyky vaikuttaisi olevan huomattavasti matalampi keväällä ja alkukesästä 2021, jolloin sen arvo oli selvästi alle 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Syksyllä 2020 sähkönjohtavuus oli jatkuvasti huomattavasti yli 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja paikoitellen melkein kaksinkertainen vuoden 2021 arvoihin verrattuna. Sameusarvossakin oli havaittavissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua, sillä keväällä ja loppusyksystä sameusarvo oli noin 2 FNU, kun taas kesällä ja alkusyksystä arvo oli korkeimmillaan kymmenkertainen. Tämä on todennäköisesti veden sisältämän kasviplanktonin ja esimerkiksi siitepölyn vaikutusta.

Monitorointijaksot olivat melko lyhyitä, eikä niiden tuloksista voida vetää kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Pitkät ja toistuvat jatkuvatoimisten mittalaitteiden avulla suoritettavat mittausjaksot mahdollistavat mittauskohteen ”tuntemisen” ja auttavat hahmottamaan eri muuttujien väliset vaikutus- ja riippuvuussuhteet.

Lähteet

Airola, J., Nurmi, P. ja Pellikka, K. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 12/2014. [Saataavilla: https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-14.pdf](https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-14.pdf)

Ilmatieteenlaitos s.a. Kevätsään tilastot. [Saataavilla: https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kevattilastot](https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kevattilastot)

Kettunen, I., Mäkelä, A. ja Heinonen, P. 2008. Vesistötietoa näyttöönottajille. Ympäristöopas 2008. [Saataavilla: file:///C:/Users/htura01/Downloads/YO_vesist%C3%B6tietoa_sivut_1_34_lopullinen.pdf](file:///C:/Users/htura01/Downloads/YO_vesist%C3%B6tietoa_sivut_1_34_lopullinen.pdf)

Kosonen, M., Puhakainen, L., Ustinov, A., Huttunen, A., Turtiainen, P. 2021. Hanhilammen hoito- ja käyttösuunnitelma 2021-2036. Saatavilla: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/08/Hanhilammen-hoito-ja-kayttosuunnitelma.pdf>

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta – Opasvihkonen. Kokemäen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Saatavilla: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>

Szklarek, S., Górecka, A., Wojtal-Frankiewicz, A. 2022. The effects of road salt on freshwater ecosystems and solutions for mitigating chloride pollution – A review. Science of the Total Environment 805 (2022).

Artikkeli nro 3. Ilmestynyt Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan vuoden 2023 TKI-vuosijulkaisussa. Julkaisun pysyvä osoite on:

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-555-0>

TIELIIKENTEESSÄ SYNTYVÄN MIKROMUOVIN MÄÄRÄN ARVIOINTI HANHIJOEN VALUMA-ALUEELLA

Tuija Ranta-Korhonen

Kaupunkialueiden rooli mikromuovipartikkelien syntymisessä ja niiden päätyemisessä vesistöihin on merkittävä. Mikromuoveja syntyy kaupungeissa sekä liikenteen että roskaamisen seurauksena ja niitä päätyy vesistöihin esimerkiksi hulevesien mukana. Mikkelin kaupunkialueella on useita pienvesistöjä, jotka ovat merkittäviä niin kaupunkikuvallisesti kuin virkistyksen kannalta. Yksi Mikkelin kaupunkialueen läpi kulkevista virtavesistä on Seitsenniminen joki. Nimensä mukaisesti joella on matkallaan syntylähteeltään purkuvesistöön seitsemän eri nimeä, esimerkiksi Siekkilänjoki, Pankajoki, Hanhijoki sekä Emolanjoki. Joella ja sen vedenlaadulla ja etenkin Hanhijoki-nimisellä osuudella on merkitystä kaupungin talousveden tuotannossa, sillä Mikkelin keskustaajaman toinen vedenottamo sijaitsee Hanhikankaan pohjavesialueella, jonka läpi Hanhijoki virtaa. Tässä artikkelissa on arvioitu Hanhijoen valuma-alueella tieliikenteessä syntyvän mikromuovin määrää erilaisten tilastollisten aineistojen sekä kartta-aineistojen avulla.

TIELIIKENTEEN MIKROMUOVIT

Tieliikenteen mikromuovipäästöt koostuvat sekä renkaiden kulumisesta syntyvistä mikropartikkeleista että tiemerkinntöihin käytetyn muovin haurastumisesta säänvaihteluista ja renkaiden aiheuttamasta mekaanisesta kulumisesta johtuen. (Kole et al. 2017, 2.) Suomessa tieliikenteen rengaskuluman on arvioitu tuottavan vuosittain 5 348–10 528 tonnia mikromuovipäästöjä. Tiemerkinntömassojen tai -maalien määrää ei toistaiseksi ole arvioitu. (Setälä & Suikkanen 2020, 9) Asukaskohtaisen rengaskuluman aiheuttaman mikromuovin määrän

Suomessa on arvioitu olevan 1,0–1,9 kg vuodessa (Setälä & Suikkanen 2020, 70).

Renkaiden kulumisesta syntyvien mikromuovipartikkelien kokojakaumaa on tutkittu laboratorio-oloissa, mutta syntyvien partikkelien massaa on vaikea selvittää tällä tavoin. Niinpä massaa on arvioitu esimerkiksi eri maiden rengaskierrätystilastojen tietojen avulla. Tällöin on verrattu uusien renkaiden ja kierrätykseen palautuneiden renkaiden välistä painoeroa ja suhteutettu se kyseisen maan vuotuisen tilastoituun ajosuoritteeseen (Kole et al. 2017, 8). Renkaiden kulumaa on arvioitu myös kaupunkiolosuhteissa mittaamalla tietyn ajoneuvojoukon renkaiden kuvion syvyyttä säännöllisesti (Liu et al. 2022).

Vuonna 2017 julkaistun koontiartikkelin mukaan (Magnusson et al. 2016) Ruotsissa on arvioitu syntyvän vuosittain 13 328 tonnia rengaskumipartikkeleita ja henkilöauton tuottaman partikkelimäärän on arvioitu olevan 50 mg/km kaikki tiettyypit huomioiden. Bussien ja raskaan kuljetuskaluston renkaista irtoava kilometrikohtainen mikromuovimäärän on arvioitu olevan 700 mg/km. Tämä johtuu luonnollisesti raskaan kaluston ajoneuvojen suuremmasta painosta. (Kole et al. 2017, 6)

Norjassa ja Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa puolestaan on hyödynnetty YK:n alaisen UNECE:n (United Nations Economic Commission for Europe) epävirallista työpaperia, jonka mukaan henkilöautojen renkaiden kuluminen on noin 33 mg/km rengasta kohti ja raskaan ajoneuvon puolestaan 178 mg/km. Jos oletetaan, että ajoneuvossa on neljä rengasta, saadaan henkilöauton renkaiden yhteenlasketuksi kulumaksi 132 mg/km ja raskaan liikenteen puolestaan 712 mg/km. (UNECE 2013.)

Kaupunkialueella renkaista irtoaa enemmän mikromuovia kuin haja-asutusalueiden tiealueilla tai valtateillä. Tämä johtuu kaupunkialueen liikenteen ominaispiirteistä eli ajoneuvojen jarruttamisesta ja kiihdyttämisestä. (Kole et al. 2017, 7.) Tieliikenteen mikromuovit päätyvät vesistöihin lumenkaatopaikkojen sulamisvesien, huleveden sekä pintavaluman kautta. Pienimmät hiukkaset voivat

päätyä vesistöihin myös ilmakulkeutumana. (Setälä & Suikkanen 2020, 9) Ilmakulkeuman on kuitenkin arvioitu olevan vähemmän kuin 5–10 % kokonaispartikkelimäärästä. (Österlund et al. 2023, 4).

Renkaiden valmistuksessa käytetään nykyään luonnon ja synteettisen kumin sekoitusta, johon lisätään erilaisia kemikaaleja ja hiilimustaa. Vaikka renkaat siis valmistetaan kumista, luetaan niistä kulumisen myötä irtoavat partikkelit osaksi mikromuoveja. (Kole et al. 2017, 3.) Kun renkaat ovat vuorovaikutuksessa tienpinnan kanssa, altistuvat ne hankaukselle ja lämmölle. Nämä tekijät muuttavat rengaskumin fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia ja saavat muovipartikkelit reagoimaan tiepölyn ja asfaltista irtoavan bitumin kanssa. Tämä puolestaan kasvattaa muovipartikkelien massaa, mikä osaltaan vaikuttaa niiden käyttäytymiseen vesistöissä. (Österlund et al. 2023, 5.)

Syntyneet mikromuovit kerääntyvät muun muassa tiealueille, tietä reunustaville viherkaistoille, hulevesien käsittelyrakenteisiin, pintamaahan ja voivat siirtyä eteenpäin hulevesien ja pintavaluman mukana (Österlund et al. 2023, 3.). Rengaskumia sisältävien partikkelien on todettu olevan enimmäkseen vettä raskaampia, eli hulevesien mukana kulkeutuessaan ja vesistöön päätyessään ne todennäköisemmin laskeutuvat vesistöjen pohjaan (Setälä & Suikkanen 2020,68). Alankomaissa tehdyn tutkimuksessa on arvioitu, että kokonaisuudessaan noin 12 % tieliikenteessä syntyneestä mikromuovista päätyy lopulta vesistöihin. (Kole et al. 2017, 17.) Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa puolestaan on arvioitu, että vesistöihin päättyy noin 20 % syntyneestä mikromuovista (Unice et al. 2019, 1656).

HANHIJOEN VALUMA-ALUE

Hanhijoki on osa Vuoksen vesistöalueeseen kuuluvaa Seitsennimistä jokea. Seitsenniminen joki saa alkunsa Mikkelin Otavassa sijaitsevasta Iso-Kirveslamesta ja laskee Saimaan Savilahteen Mikkelin keskusta-alueen läheisyydessä. Hanhijoen valuma-alue on pinta-alaltaan noin 63 km² (VALUE). Joen pituus on noin 20 kilometriä (Kosonen ym. 2020). Kuvassa 1 on nähtävillä Hanhijoen valuma-alue

Lisäksi alueen läpi kulkee useita pienempiä teitä ja katuja. Kokonaisuudessaan Corine 2012 -laskenta-aineiston mukaan Hanhijoen valuma-alueen pinta-alasta asuinalueet kattavat noin 5 %, teollisuuden, palvelun ja liikenteen alueita on 6,1 %, virkistysalueita 2,5 %, viljelysmaita 4,5 % ja erilaisia metsämaita hieman yli 79 % alueesta (VALUE).

LIKENNEMÄÄRÄT HANHIJOEN VALUMA-ALUEEN SUURILLA TEILLÄ

Suurin liikennemäärä valuma-alueen läpi kulkevilla teillä on valtatie 5:llä, jolla kulkee 9 867 ajoneuvoa vuorokaudessa. Seuraavaksi suurin liikennemäärä on Vt 13:lla, jonka valuma-alueella sijaitsevilla eri osuuksilla kulkee 5 447 ja 2 741 ajoneuvoa vuorokaudessa. Väyläviraston karttapalvelun mukaiset liikennemäärät Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla suurilla teillä on esitetty taulukossa 2 (Väylävirasto 2023).

TAULUKKO 2. Liikennemäärät Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla suurilla teillä (Väylävirasto 2023)

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)
Vt 5	4,5	9867
Vt 13	6,5	5447, 2741*
Vanha Otavantie 15105	9	2296
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348
Yhdystie 15208	6,3	947

* Osuus Otavankadun liikenneympyrä- Savilahdenkadun liittymä pituus 1 km, liikennemäärä 5447, tämän jälkeen ajoneuvomäärä/ vrk on 2741

TIELIIKENTEESTÄ SYNTYVÄN MIKROMUOVIN MÄÄRÄN ARVIOINTI HANHIJOEN VALUMA-ALUEELLA

Väyläviraston tietojen mukaan Vt 5:n tieosuudella välillä Hurus-Hietanen raskaan liikenteen osuus on noin 10 % (Väylävirasto 2023). Laskennassa on hyödynnetty tätä arviota. Väyläviraston vuoden 2018 tietojen mukaan Vt 13:lla vä-

lillä Lappeenranta–Mikkeli raskaan liikenteen osuus on 9–18 %. Tässä laskennassa raskaan liikenteen osuutena päätettiin käyttää kyseisten arvojen keskiarvoa 13,5 % (Väylävirasto 2018).

Taulukossa 3 esitetyssä laskennassa on hyödynnetty UNECE:n arvioita renkaiden kilometrikohtaisesta kulumisesta, mikä on henkilöautojen osalta 33 mg/km/rengas ja raskaan liikenteen osalta 178 mg/km/rengas. Laskennassa on oletettu, että ajoneuvossa on neljä rengasta. Todellisuudessa raskaan liikenteen ajoneuvojen rengasmäärä on merkittävästi suurempi. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Syntyvän mikromuovin määrä Hanhijoen valuma-alueen isoilla teillä. Renkaiden kuluman arviointi UNECE:n mukaan.

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)	Mikromuovi mg/km/ajoneuvo	Syntyneen mikromuovin määrä kg
Vt5, henkilöautot	4,5	8880	132	1925,27
Vt5, raskas liikenne	4,5	987	712	1154,26
Vt13, henkilöautot*	1	4714	132	227,12
Vt13, raskas liikenne*	1	736	712	191,27
Vt13, henkilöautot**	5,5	2136	132	566,02
Vt13, raskas liikenne**	5,5	334	712	477,40
Vanha Otavantie 15105	9	2296	132	995,59
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348	132	72,10
Yhdystie 15208	6,3	947	132	287,45

*Otavantie-Vt13 liikenneympyrä - Savilahdenkadun liittymä

5896,47

** Savilahdenkadun liittymä - valuma-alueen ulkoraja

Taulukossa 4 on esitetty samoihin tieosuuksien pituuksiin sekä liikennemääriin perustuva laskenta. Renkaiden kulumana on kuitenkin käytetty Ruotsissa tehdyn tutkimuksen tuloksia. Tulosten mukaan henkilöauton kilometrikohtainen rengaskuluma on 50 mg ja raskaan liikenteen 700 mg.

TAULUKKO 4. Syntyvän mikromuovin määrä Hanhijoen valuma-alueen isoilla teillä. Renkaiden kuluman arviointi Magnusson et al. 2016 mukaan.

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)	Mikromuovi mg/km/ajoneuvo	Syntyneen mikromuovin määrä kg
Vt5, henkilöautot	4,5	8880	50	729,27
Vt5, raskas liikenne	4,5	987	700	1134,80
Vt13, henkilöautot*	1	4714	50	86,03
Vt13, raskas liikenne*	1	736	700	188,05
Vt13, henkilöautot**	5,5	2136	50	214,40
Vt13, raskas liikenne**	5,5	334	700	469,35
Vanha Otavantie 15105	9	2296	50	377,12
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348	50	27,31
Yhdystie 15208	6,3	947	50	108,88

*Otavantie-Vt13 liikenneympyrä - Savilahdenkadun liittymä

3335,21

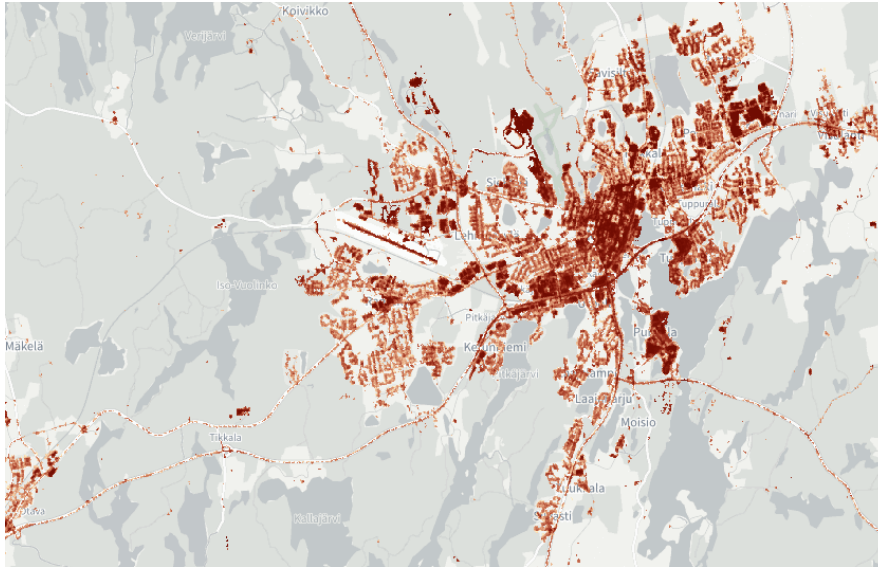
** Savilahdenkadun liittymä - valuma-alueen ulkoraja

LASKENNAN TULOSTEN TARKASTELU

Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla teillä syntyy laskennan tulosten mukaan käytetyillä muuttujilla 3,3–5,9 tonnia mikromuovihiukkasia vuosittain. Laskennan tulos riippuu laskennassa käytetyn rengaskuluman arvosta. Alankomaissa tehdyn tutkimuksen mukaan noin 12 % tieliikenteessä syntyvistä mikromuovipartikkeleista päätyy vesistöihin (Kole et al. 2017), Ranskassa tehdyn tutkimuksen mukaan vesistöihin päätyvä osuus on 20 % (Unice et al. 2019). Käytettäessä näitä prosentuaalisia osuuksia sekä laskennan tuloksia vesistöihin päätyvien liikenteestä peräisin olevien mikromuovihiukkasten määrän arvioinnissa, saadaan Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevien isojen teiden aiheuttamaksi vuotuiseksi vesistöjen mikromuovipäästöksi 396–1180 kilogrammaa.

Tämä ei ole koko totuus Hanhijoen valuma-alueella vesistöihin päätyvien tieliikenteessä syntyvien mikromuovien määrästä, sillä mikromuoveja syntyy tieliikenteen tuloksena myös muilla kuin laskennassa käytetyillä suurilla teillä. Valuma-alueella on myös paljon pienempää tiestä sekä muuta tieliikenteen käytössä olevaa vettä läpäisemätöntä pintaa. Kuvassa 2 on nähtävillä Mikkelin kaupunkialueella sijaitsevien vettä läpäisemättömien pintojen osuus Corine Land

Cover 2018-aineiston mukaan. Mitä tummemmalla värillä jokin alue on merkitty, sitä enemmän siellä on vettä läpäisemättömää pintaa. (Corine 2018.) Pienemmillä teillä ei kuitenkaan ole saatavissa liikennemääriä, joten niillä syntyvien mikromuovipartikkelien arviointi on hankalaa.



KUVA 2. Vettä läpäisemättömät pinnat Mikkelin kaupunkialueella Corine 2018 -aineiston mukaan (Corine 2018)

ALT-teksti: Kuvassa on esitetty eri vahvuisella punaisella värillä Mikkelin kaupunkialueen vettä läpäisemättömät pinnat. Mitä tummempi väri, sen vähemmän vettä pinta läpäisee.

YHTEENVETO

Tässä artikkelissa esitetyn laskennan tulosten todenmukaisuutta on vaikea arvioida. Laskennan tuloksena saadut mikromuovimäärät tuntuvat suurilta ja vaihtelevat suuruudeltaan valitun renkaiden kuluma-arvon mukaan. Tämän kaltaisessa laskennassa on suuria epävarmuustekijöitä, johtuen muun muassa lähtöoletusten ja -arvojen valinnasta. Laskennan tuloksen voi siis sanoa olevan suuntaa antava. Kiistämätön tosiasia kuitenkin on, että liikenne on huomattava mikromuovipäästöjen lähde.

Kaupunkiympäristössä syntyneet mikromuovit kulkeutuvat eteenpäin eri tavoin. Osa niistä voi muodostaa maapartikkelien kanssa suurempia hiukkasia ja jäädä

osaksi pintamaata. Myös kasvillisuuden on todettu sitovan esimerkiksi hulevesien sisältämää mikromuovia, sillä mikromuovi voi päätyä kasvien juurikanaviin veden mukana (Järveläinen ym. 2019, 6). Merkittävä mikromuoveja eteenpäin kuljettava tekijä on hulevesi. Hienoimmat hiukkaset voivat myös siirtyä ilmateitse. Hiukkasten tarkempaa kulkeutumista Hanhijoen valuma-alueella olisi mahdollista tarkastella esimerkiksi mallinnuksen avulla.

Liikenteen mikromuovipäästöjä on hankala vähentää, sillä renkaiden valmistusmateriaalien koostumuksella voidaan ainoastaan rajallisesti vaikuttaa renkaiden kulumiseen. Kulumisen lisäksi rengasvalmistajien on otettava huomioon myös muita, esimerkiksi ajoturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten renkaiden pito-ominaisuudet.

Liikenteen sähköistyessä ja sähköautojen määrän lisääntyessä on odotettavissa renkaiden kulumisesta aiheutuvien mikromuovipäästöjen määrien kasvua, sillä ainakin tämänhetkiset sähkö- ja hybridautot ovat huomattavasti polttomootoriautoja raskaampia (Liu et al. 2022). Myös tulevaisuudessa ennustettu liikennemäärien kasvu tulee vaikuttamaan liikenteestä syntyvien mikromuovien määrään. Liikenteen mikromuovipäästöihin tuleekin kiinnittää entistä enemmän huomiota ja niiden päätymien vesistöihin tulee estää.

Mikromuovien, kuten muidenkin hulevesien sisältämien epäpuhtauksien, pääsy vesistöihin voidaan pyrkiä estämään erilaisten hulevesirakenteiden avulla. Hulevesirakenteissa merkittävää roolia näyttelee veden virtausnopeuden hidastaminen, jolloin vettä raskaammat partikkelit saadaan laskeutettua rakenteen pohjalle. Koska mikromuovi on pysyvää, on tämä kuitenkin huomioitava hulevesirakenteisiin kertynyttä lietettä poistettaessa ja sen jatkohyödyntämistä suunniteltaessa.

LÄHTEET

Corine 2018. CORINE Land Cover 2018. Saatavilla: <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?dataset=0407d497d3c44bcd93ce8fd5bf78596a>. Luettu: 12.11.2023

Järveläinen, J., Kuoppamäki, K., Pöysti, M. 2019. Hulevesien siirto, biosuodatuskäsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa. *Vesitalous* 2/2019. Saatavilla: https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf

Järviwiki 2011. Emolanjoen valuma-alue. Saatavilla: [https://www.jarviwiki.fi/wiki/Emolanjoen_valuma-alue_\(04.153\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Emolanjoen_valuma-alue_(04.153))

Karttaselain s.a. Kartta-aineisto. saatavilla: www.karttaselain.fi

Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J. & Ragas M.J., 2017. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Julkaistu 20.10.2017.

Kosonen, M., Puhakainen, L., Ustinov, A., Huttunen, A. & Turtiainen, P. 2020. Hankilammen hoito- ja käyttösuunnitelma 2021–2036. Saatavilla: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/08/Hanhilammen-hoito-ja-kayttosuunnitelma.pdf>

Liu, Y., Chen, H., Wu, S., Gao, J., Li, Y., An Z., Mao, B., Tu, R., Li, T. 2022. Impact of vehicle type, tyre feature and driving behaviour on tyre wear under real-world driving conditions. *Science of Total Environment* 2022, volume 842. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969722040475>

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Johanna Stadmark, J., Voisin, A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastic to the marine environment. Saatavilla: <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473b16/1628417679619/FULLTEXT01.pdf>

Setälä, O. & Suikkanen, S. (toim.) 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/ 2020.

Unice, K. M., Weeber, M. P., Abramson, M. M., Reid, R. C. D., van Gils, J. A. G., Markus, A. A., Vethaak, A. D., & Panko, J. M. (2019). Characterizing export of land-based microplastics to the estuary - Part II: Sensitivity analysis of an integrated geospatial microplastic transport modeling assessment of tire and road wear particles. *Science of the Total Environment*, 646, 1650-1659. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.301>

UNECE 2013. United Nations Economic Commission for Europe. Particulate Matter Emission by Tyres. Informal Document GRPE-65-20. Saatavilla: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/wp29grpe/GRPE-65-20e.pdf>

VALUE s.a. Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. Saatavilla: <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>

Väylävirasto 2018. Vt 13 Mikkeli-Lappeenranta. Suunnittelukohde 06/2018. Saatavilla: <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/28909395/TIE+Vt+13+Mikkeli+-+Lappeenranta.pdf/df6c0f24-b38b-4ef2-8675-44ef469ece69>

Väylävirasto 2023. Suomen Väylät. Väyläviraston kartta-aineisto. Saatavilla: <https://suomenvaylat.vayla.fi/theme/0/471798/7051886/11/?lang=fi>

Österlund, H., Blecken, G., Lange, K., Marsalek, J., Gopinath, K. Viklander, M. 2023. Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry in stormwater. *Science of the Total Environment* 858.