

Noora Kuusikoski

MIKKELIN TUSKUN
TEOLLISUUSALUEEN
KUORMITUSVAIKUTUKSET
Valuma-alueen hulevesitutkimus

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 15.5.2015
Tekijä(t) Noora Kuusikoski	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Mikkelin Tuskun teollisuusalueen kuormitusvaikutukset: valuma-alueen hulevesitutkimus	
Tiivistelmä Työn aiheena oli tutkimus Mikkelin Tuskun teollisuusalueen valuma-alueen hulevesien vesistökuormitusvaikutuksista. Tutkimusta tehtiin uomanäytteenottojen ja laboratorioanalyysien avulla. Työn tavoitteena oli paikallisella hulevesitutkimuksella selvittää teollisuusalueen hulevesien laatua ja valuma-alueen aiheuttamaa kuormitusta vesistöön. Tarkoituksena oli saada paikallista tietoa hulevesien kuormituksesta ja selvittää kuormituslähteiden alkuperää, sekä sitä aiheutuuko vesistössä aiemmin havaittu bakteerikuormitus tietyistä pistekuormituslähteistä vai hajakuormituksen seurauksena. Näytteenotot tehtiin marraskuu 2014 ja maaliskuu 2015 välisenä aikana ja näytteet analysoitiin Mikkelin ammattikorkeakoulun mikrobiologian tai kemian laboratoriossa. Kaikista näytteistä määritettiin pH:n sähkönjohtavuuden sekä sameuden arvot. Mikrobiologista laatua tutkittiin kalvosuodatusmenetelmällä sekä Colilert- pikamenetelmällä ja lisäksi osasta näytteitä tutkittiin ravinnekuormitusta määrittämällä näytteistä kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet. Kaikissa näytteissä, joista tutkittiin bakteerisaastumista, havaittiin korkeita pitoisuuksia koliformisia bakteereja. Osassa näytteitä todettiin myös <i>E. coli</i> - bakteeri sekä kohonneita Enterokokkibakteeripitoisuuksia. Bakteeritulokset osoittivat ulosteperäistä saastumista lentokentän pohjoispuolella sekä eteläpuolella. Lisäksi osassa näytteitä havaittiin typpi- ja fosforikuormituksen kohoamista. Tutkimusten perusteella saatiin selville, että Tuskun teollisuusalue heikentää vesien laatua. Veden laadun parantamiseksi alueelle tulisi löytää sopiva hulevesien käsittelytapa ja -paikka. Mahdollinen käsittelyvaihtoehto olisi viivytys. Tässä opinnäytetyössä jatkettiin aikaisemmin tehtyjä selvityksiä hulevesialueiden vaikutuksesta veden laatuun Mikkelin kaupunkialueella. Työllä tuotettiin lisää tietoa Mikkelin kaupunkialueen suurimman valuma-alueen vesistövaikutuksista. Tulokset ovat hyödyksi Mikkelin ympäristöpalveluille ja muille toimijoille, jotka tutkivat Mikkelin kaupunkialueen vesistöjä ja etsivät ratkaisuja vesistöjen tilan parantamiseksi.	
Asiasanat (avainsanat) Veden laatu, mikrobiologinen laatu, hulevedet, teollisuushulevedet, valuma-alue, bakteerikuormitus, ravinnekuormitus	
Sivumäärä 50 + 12	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä) 4	
Ohjaavan opettajan nimi Hannu Poutiainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin seudun ympäristöpalvelut

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 15.5.2015
Author(s) Noora Kuusikoski	Degree programme and option Environmental engineering
Name of the bachelor's thesis The hydrological loading effects of Mikkeli Tusku's industrial area: an urban runoff research of a watershed area	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to do research about hydrological loading effects of Mikkeli Tusku's industrial area. The research was done by water sampling and laboratory analyses. By performing localized runoff-water research, the aim of the thesis was to investigate the quality of industrial area's runoff waters, and both bacteria and nutrient load caused by the watershed area. The goal was to get local information and find out the origin and reason of raised bacteria loads measured in former researches done in the area. Also the aim was to find out if the load is caused by concentrated point load or scattered load.</p> <p>The measurements of the thesis were performed at the laboratory of Mikkeli University of Applied Sciences between November 2014 and March 2015. The pH, conductivity and turbidity values were measured of all the samples. Membrane filtration system and Colilert -24 tests were used for testing the micro-biological quality of the runoff water. Also nitrogen and phosphorus loads were analyzed of some of the samples.</p> <p>In all of the samples where bacteria pollution was investigated, high concentrations of coliform bacteria was measured. In some of the samples also <i>E. coli</i> bacteria and high concentrations of Enterococci bacteria were measured. The results proved drainage system was microbiologically polluted in the north and west side of the Mikkeli airport in the research area. Also, in some samples of the same areas, raised nitrogen and phosphorus levels were measured. The results showed that the industrial area of Tusku affects the water quality of the watershed area negatively. Some solutions and treatments should be found to improve the quality of waters.</p> <p>The thesis gives valuable information about the microbiological quality and nutrient load of urban runoff water in the industrial area. Information will be useful for the Environmental services of Mikkeli's area and others who are investigating the water quality and aiming to find solutions for improving the water quality in the area.</p>	
Subject headings, (keywords) Water quality, microbiological quality, urban runoff, industrial area runoff, watershed area, bacteria load, nutrient load	
Pages 50 + 12	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 4	
Tutor Hannu Poutiainen	Master's thesis assigned by Mikkeli's Environmental Services

SISÄLTÖ

1	SANASTO	1
2	JOHDANTO	2
3	HULEVESIEN HYDROLOGIA JA HALLINTA.....	5
3.1	Hydrologinen kierto.....	5
3.2	Ravinteiden kierto vesistöissä.....	6
3.3	Hulevedet.....	7
3.3.1	Hulevesiviemärijärjestelmät	7
3.3.2	Hulevesien hallinta.....	8
3.3.3	Hulevesien hydrologia ja laatu.....	11
3.3.4	Hulevesien mitoitus ja mallinnus.....	12
3.4	Hydrologinen mallinnus	13
4	VEDEN LAADUN PARAMETRIT	14
4.1	pH	14
4.2	Sameus.....	15
4.3	Sähkönjohtavuus.....	15
4.4	Enterokokit	16
4.5	Escherichia Coli ja koliformiset bakteerit	16
4.6	Typpiyhdisteet	17
4.7	Fosfori.....	18
5	TUTKIMUSALUE JA TUTKIMUSPISTEET	18
5.1	Tutkimusalueen sijainti ja maankäyttö	18
5.2	Hulevesien valuma-alue.....	20
5.3	Näytteenotto ja tutkimuspisteet	21
6	ANALYYSIT JA MENETELMÄT	25
6.1	Lämpötila.....	26
6.2	pH	26
6.3	Sameus.....	27
6.4	Sähkönjohtavuus.....	27
6.5	Enterokokit	28
6.6	Koliformiset bakteerit ja Escherichia coli	30
6.7	Kokonaistyyppi.....	31

6.8	Kokonaisfosfori	33
7	TULOKSET	35
8	TULOSTEN TARKASTELU JA TULKINTA	37
8.1	Pitoisuudet	37
8.2	Pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät.....	40
8.3	Tulosten vertailua	42
9	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	45
9.1	Tavoitteiden saavuttaminen	45
	Hulevesien laadun parantaminen	46
	LÄHTEET	48

LIITTEET

LIITE 1: Tutkimusalueen kartat ja näytteenottopisteet

LIITE 2: Analyysitulosten koontitaulukko

LIITE 3. Analyysit

LIITE 4: Alueen putkistokartta

1 SANASTO

Avo-oja = Maahan kaivettu, peittämätön uoma, jonka tarkoitus on tietyn maa-alueen kuivattaminen tai kasteleminen tai muu veden johtaminen

Avouoma = Avoin veden kulkureitti

Hulevesi = Maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettava sade- tai sulamisvesi

Hulevesijärjestelmä = Hulevesien hallintaan tarkoitettujen rakenteiden kokonaisuus

Hulevesikaivo = Hulevesien kokoamiseen tarkoitettu kaivo, jossa voi olla ritiläkansi ja/tai liete/hiekkapesä

Hulevesiviemäri = Avo-oja tai viemäri, joka on tarkoitettu pelkästään hulevesien johtamiseen

Hydrologinen kierto = veden kiertokulku, kuvaa veden jatkuvaa liikettä vesikehässä

Kaavoitus = osoitetaan tietyn rajatun alueen käyttötarkoitukset ja annetaan alueiden käyttöä koskevia määräyksiä

Luonnonmukainen hulevesien hallinta = Luonnon omien veden kiertoon ja veden laatuun vaikuttavien hulevesien hallinta tekijöiden hyödyntäminen ja tukeminen taajamien hulevesien hallinnassa

Pintavalunta = Maanpinnalla valuva sadannan osa

Ravinnekuormitus = Ravinteiden (kuten typpi ja fosfori) vesistöille aiheuttama kuormitus

Sadanta, sademäärä (mm.) = Tietylle alueelle tietyssä aikana sataneen vesimäärän paksuus

Valunta (mm) = Se sadannan osa, joka valuu kohti uomaa maan pinnalla tai sisällä

Valuma (mm/ha, l/s x km²) = Alueelta aikayksikössä purkautuva vesimäärä pinta-ala-yksikköä kohden

Valuma-alue = Maaston korkeimpien kohtien (vedenjakajien) rajaama alue, jolta hulevedet virtaavat samaan puroon, jokeen, järveen tai mereen (taajamissa hulevesiverkostolla valuma-alueiden rajoja on voitu muuttaa maaston muodosta poikkeaviksi)

2 JOHDANTO

Vesistöihin kohdistuu kuormitusta ihmisen toiminnan seurauksena monelta eri alalta. Vesistöjen tilaan vaikuttavat tekijät, kuten rakentaminen, liikenne, metsien- soiden- ja maa-aineksen käyttö sekä maa- ja kalatalous. Laajimmin Suomen vesien tilaa heikentää rehevöittävien aineiden, fosforin ja typen, kuormitus. Yleensä vesistöihin kohdistuva kuormitus jaotellaan piste- ja hajakuormitukseksi. Pistekuormituksella tarkoitetaan tarkasti tunnettua kohtaa kuten puhdistamon purkupuutkea; tämä kuormitus on usein määrältään arvioitavissa. Hajakuormitus taas on määrällisesti ja alueellisesti vaikeammin määriteltävissä. Hajakuormitus voi tulla esimerkiksi pelloilta, soilta, pohjaveden mukana tai laskeutuen ilmasta. (SYKE 2014.)

Yksi vesistöjen kuormittaja on taajama-alueilta valuvat hulevedet. Hulevesillä tarkoitetaan maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettavia sade- tai sulamisvesiä. (SYKE 2015a.) Hule- ja kuivatusvesien johtaminen ja hallinta on kokonaisuus, jonka osapuolina ovat kiinteistöt, kunta ja vesihuoltolaitos sekä osin myös valtio. Hulevedet ja kiinteistöjen kuivatusvedet ovat kulkeneet pääasiassa viemäriverien yhteydessä, mutta tämä ei välttämättä kuitenkaan ole perusteltua, sillä hulevesien ja kiinteistöjen kuivatusvesien synty ja luonne poikkeaa huomattavasti viemäriveristä. Suomessa on viime vuosina ollut esillä hule- ja kuivatusvesien pilaava vaikutus sekä hulevesien ympäristönsuojelullisen valvonnan tarve. (Vakkilainen ym. 2005.)

Tässä opinnäytetyössä paikallisella hulevesitutkimuksella selvitettiin teollisuusalueen hulevesien laatua ja valuma-alueen aiheuttamaa kuormitusta vesistöön. Tarkoituksena oli saada paikallista tietoa hulevesien kuormituksesta ja selvittää kuormituslähteiden alkuperää. Vaikka teollisuuden aiheuttama vesistökuormitus onkin selvästi pienentynyt 1990-luvun alusta lähtien, teollisuusprosesseissa tapahtuneiden parannusten ja jätevesien puhdistuksen tehostumisen seurauksena, ovat teollisuusalueet kuitenkin yhä merkittävä kuormituslähde taajama-alueilla (SYKE 2015a.)

Työn aiheena oli siis tutkimus Mikkelin lentokentän ja Tuskun teollisuusalueenvaluma-alueen hulevesien vesistövaikutuksista, laboratorioanalyysien ja kenttämittausten avulla. Työssä jatkettiin Kaisa Lampisen (2013) ja Sami Niemelän (2014) opinnäytteitä koskien hulevesialueiden vaikutusta veden laatuun Mikkelin kaupunkialueella.

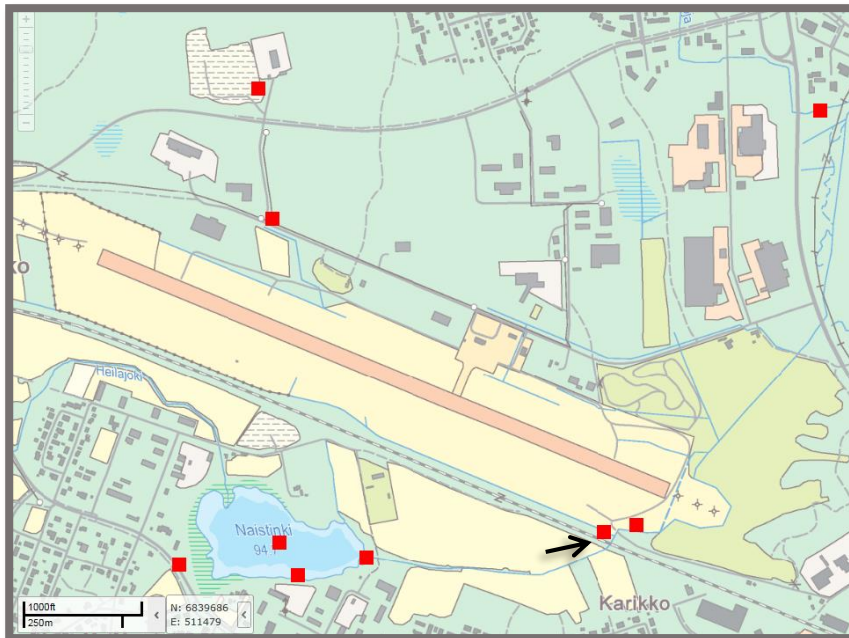
Tässä työssä selvitettiin hulevesivalunnan aiheuttamien kohonneiden bakteeri- ja ravinnepitoisuuksien alkuperää, tarkoituksena selvittää kuinka suuri kuormittava vesistövaikutus on Tuskun teollisuusalueen ja lentokentän muodostamalla valuma-alueella. Eri-tyisesti haluttiin selvittää johtuuko Mikkelin lentokentän alapuolella havaittu bakteriaisaastuminen lentokentän pohjoispuoliselta teollisuusalueelta tietystä pistekuormituslähteestä vai aiheutuuko se useampien valuntalohkojen aiheuttamasta hajakuormitustoiminnasta. Näytteenottojen avulla selvitettiin ensin veden kuormituksen alueellista jakaantumista alueella, tavoitteena paikantaa karkeasti miltä suunnalta suurimmat päästöt valuvat. Aluekartoituksen jälkeen alueilta, joilta suurimmat pitoisuudet havaittiin, tehtiin tarkentavia mittauksia.

Mikkelin alueella on aiemmin selvitetty hulevesivaluma-alueiden vaikutusta vesien kemialliseen ja mikrobiologiseen laatuun. Aiempien selvitysten perusteella suurimmaksi yhtenäiseksi 7-nimisen joen laatuun vaikuttavaksi hulevesialueeksi Mikkelin taajama-alueella on osoittautunut Mikkelin lentokentän ja Tuskun teollisuusalueen muodostama hulevesialue. Mikkelin hulevesien laatua on selvitetty aiemmin muun muassa kahdessa opinnäytetyössä. (Tanskanen 2014.)

Kaisa Lampinen on tutkinut opinnäytetyössään veden kemiallisia ominaisuuksia Mikkelin seitsennimisessä joessa. Työssä selvitettiin, kuinka suuri osuus kuormituksesta on peräisin tutkimusalueen ulkopuolisilta valuma-alueilta ja vastaavasti kuinka suuri osuus on taajamavaluma-alueilta lähtöisin. Tuloksien perusteella saatiin selville, että taajamavaluma-alueilta tuleva kuormitus on huomattavasti suurempi verrattuna tutkimusalueen ulkopuolisilta valuma-alueilta tulevaan kuormitukseen. (Lampinen 2013.)

Vuonna 2013 - 2014 Sami Niemelä jatkoi Kaisa Lampisen selvityksiä opinnäytetyössään; Hanhikankaan hankintaveden laatututkimus: Siekkilänjoki-Hanhilampi välinen alue, selvittäen Hanhikankaan vedenpumppaamolle tulevan hankintaveden laatua. Niemelän tekemien tutkimusten perusteella hankintavedessä havaittiin *E. coli*- ja Enterokokkibakteeripitoisuuksia, jotka osoittivat hankintavedessä ulosteperäistä saastumista. Selvitysten perusteella bakteeriarvopiikeissä kyse oli luultavimmin hulevesivaluntaan liittyvästä kuormituksesta. (Niemelä 2014).

Tämä opinnäytetyö on siis jatkotutkimus aiemmille tutkimuksille Mikkelin kaupunki-alueen hulevesien vaikutuksesta seitsennimisen joen vedenlaatuun ja hankintaveden laatuun. Selvitystä saastumisen syistä jatkettiin tarkastelemalla Tuskun hulevesialueelta Mikkelin lentokentän alapuoliseen ojaan valuvia vesiä, jotka lopulta laskevat seitsennimiseen jokeen, aiheuttaen kuormitusta ja veden laadun heikkenemistä. Työn toimeksi-antajana oli Mikkelin seudun ympäristöpalvelut ja yhteyshenkilönä ympäristöpalveluista toimi ympäristösuunnittelija Heikki Tanskanen. Aiempien opinnäytetöiden lisäksi taustatietoja saatiin Mikkelin Ympäristöpalveluilta, Oiva – ympäristö- ja paikkatietopalvelusta, Mikkelin vesilaitokselta sekä Mikkelin lentoasemalta. Lisäksi aineistona käytettiin hulevesiohjelman yhteydessä laadittuja hulevesialueiden valuma-aluearajatietoja.



KUVA 1. Tutkimusalue ja Hertta- tietokannan tutkimuspisteet alueella (Valtion ympäristöhallinto 2014).

Kuvassa 1 on esitettyä tutkimusalue ja punaisilla pisteillä merkityt alueella sijaitsevat tutkimuspisteet, joista Hertta- Ympäristötietokannassa löytyy mittaustuloksia. Kuvaan on merkitty nuolella lentokentän alapuolella oleva piste, joissa kohonneita bakteeripitoisuuksia on havaittu aiemmissä selvityksissä ja opinnäytetöissä.

3 HULEVESIEN HYDROLOGIA JA HALLINTA

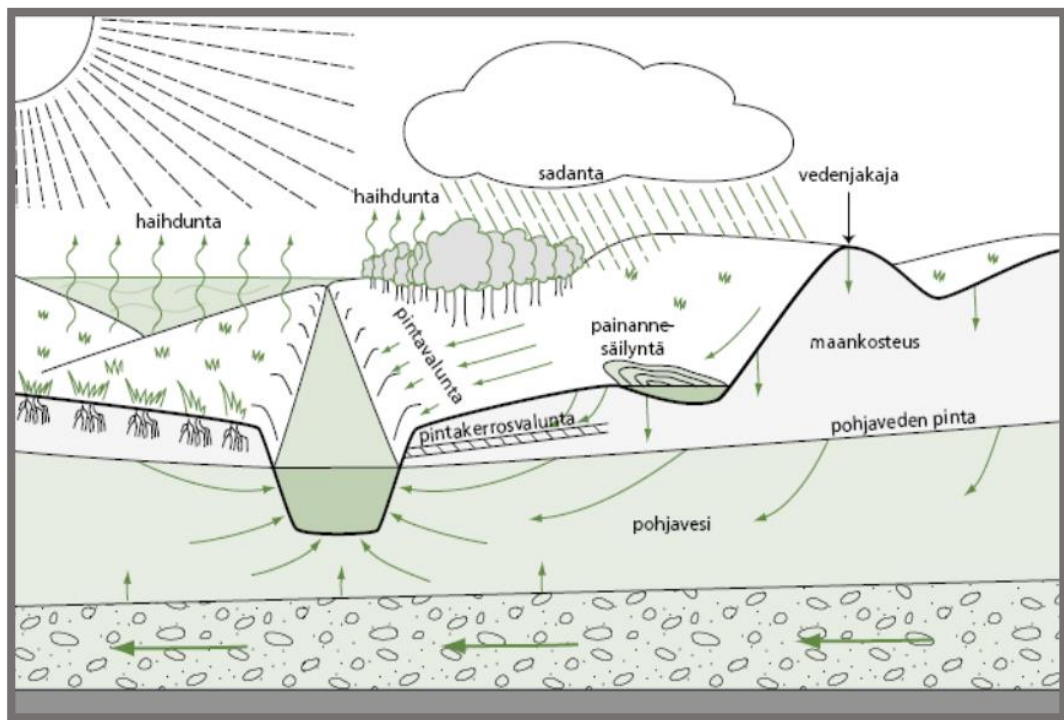
Vesistöt ja niiden valuma-alueet poikkeavat toisistaan monin tavoin. Monien Suomen vesistöjen luonnontila on muuttunut, valuma-alueilla tai vesistössä tehtyjen toimenpiteiden takia, minkä seurauksena veden käyttökelpoisuus eri tarkoituksiin on usein heikentynyt. Euroopan Unionin vesipuitedirektiivin (2000) sekä valtakunnallisen vesienhoidon tavoitteena on saattaa huonokuntoiset vesistömme jälleen hyvään ekologiseen tilaan ja vesistöjä ympäri maan onkin alettu kunnostamaan. Usein ensimmäiseksi pyritään estämään tai rajoittamaan ravinteiden tai muiden haitallisten aineiden pääsyä vesistöön, jotta tuleva kuormitus ei ylittäisi vesistön kykyä ottaa vastaan ravinteita. (Niinimäki ym. 2014.)

3.1 Hydrologinen kierto

Rakennettu ympäristö vaikuttaa luonnolliseen hydrologiseen kiertoon eli veden kiertokulkuun. Veden kiertokulku voidaan jakaa neljään osaan: sadantaan, valuntaan, haihduntaan ja infiltraatioon eli suotautumiseen maaperään (Kuva 2). Luonnollisessa kiertokulussa huomattava osa sadannasta imeytyy maaperään pohjavedeksi ja virtaa hitaasti kohti vesistöjä ja merta. Osa sadannasta valuu pintavaluntana jokiin ja järviin ja edelleen meriin. (Suomen kuntaliitto 2012.) Veden valuntailmiön muodostavat kolme eri muotoa. Pintavalunnalla tarkoitetaan valuntaa, joka kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta vesistöön. Pintakerrosvalunnalla taas tarkoitetaan veden imeytymistä maaperään ja kulkeutumista maan pintakerroksissa vesiuomiin. Pohjavesivalunnassa vesi imeytyy maaperään ja poistuu pohjavesien kautta vesistöön. (Salaoyhdistys 2013.) Valunnan lisäksi maaperässä tapahtuu painannesäilyntää, joka tarkoittaa sitä osaa sadannasta tai sulannasta, joka lätköityy maan pinnan painanteisiin (Suomen kuntaliitto 2012).

Luonnossa haihtumista tapahtuu veden, lumen ja jään pinnasta, maasta ja kasvustosta (Salaoyhdistys 2013). Vesistöissä osa vedestä haihtuu ilmakehään kolmella eri tavalla; transpiraatio, evaporaatio ja interseptio. Transpiraatiolla tarkoitetaan kasvien elintoimintoihin liittyvää haihduntaa, evaporaatio on haihduntaa maan, veden tai lumen pinnasta ja interseptio taas on kasvien pinnoille pidättyneen veden haihtumista. (Suomen kuntaliitto 2012.) Evapotranspiraatiolla tarkoitetaan maa-alueilta tapahtuvaa kokonaishaihduntaa (Salaoyhdistys 2013).

Taajamat ovat hydrologisesti voimakkaasti muutettuja ympäristöjä, joissa kaikki hydrologisen kierron osat poikkeavat luonnontilasta. Taajamissa sadanta on luonnontilaista runsaampaa ja haihdunta taas luonnontilaista pienempää. Suurin hydrologiseen kiertoon vaikuttava tekijä taajamissa on kuitenkin vettä läpäisemättömien pintojen (katot, kadut ja tiet sekä pysäköintialueet ja muut päällystetyt alueet) osuus, joka usein on jopa yli puolet kokonaisalasta. Mitä enemmän alueella on läpäisemättöntä pintaa, sitä nopeammin ja runsaammin hulevedet synnyttävät pintavaluntaa. Veden luontaisen kiertokulun lisäksi taajamissa on vesihuoltoon liittyvä veden kiertokulku. (Suomen kuntaliitto 2012.)



KUVA 2. Hydrologinen kierto valuma-alueella (Salaojayhdistys 2013).

3.2 Ravinteiden kierto vesistöissä

Ravinteet, kuten fosfori ja typpiyhdisteet tulevat vesistöihin pääosin valuma-alueilta. Osa ravinteista saattaa kuitenkin tulla myös suoraan ilmasta. Hetkelliset ravinnepitoisuuksien vaihtelut voivat olla hyvinkin suuria. Esimerkiksi vesistöihin tulevan fosforin vuodenaikaisvaihtelut ovat suuria, johtuen valunnan vaihtelusta ja suurten valuntojen aiheuttamasta eroosiosta. Vesistöön tuleva ravinnemäärä on siihen kohdistuva kuormitus tai bruttokuormitus. (Niinimäki ym. 2014.)

Vesialueilta myös poistuu ravinteita ulosvirtaavan veden mukana. Poisvirtauksessa vaihtelut eivät ole tavallisesti yhtä suuria kuin sisäänvirtauksessa. Kun havaintoja on riittävästi, veden ulosvirtaaman ja ravinnepitoisuuksien perusteella voidaan laskea vesialueelta tiettyä aikana poistuva ravinne määrä. Jos esimerkiksi tulevan ja lähtevän fosforin määrät ovat vuositasolla yhtä suuret, vesistön fosforivarasto ei muutu. Jos tulevan fosforin määrä on lähtevää suurempi, fosforivarasto kasvaa. Varasto on pääosin sedimentissä, mutta sitä on myös vesimassassa, vesieliöissä sekä vesikasvustossa. Tulevan ja lähtevän ravinne määrän erotuksesta voidaan laskea vesistön nettokuormitus. (Niinimäki ym. 2014.)

3.3 Hulevedet

Hulevedellä tarkoitetaan rakennetulla alueella maan pinnalle tai muille vastaaville pinnoille kuten kaduille, pihoille ja katoille kertyvää sade- ja sulamisvettä. Myös kiinteistöjen kuivatusvedet voidaan johtaa hulevesiviemäriin. Hulevesivalunnan muodostumiseen vaikuttaa useita eri tekijöitä, kuten: sateen intensiteetti ja kesto, sadetapahtumaa edeltävän kuivan ajan pituus, maanpinnan kaltevuus ja maaperän ominaisuudet. (Suomen kuntaliitto 2012.)

3.3.1 Hulevesiviemärijärjestelmät

Taajama-alueilla hulevesien kulkeutuminen tapahtuu usein ihmisen rakentamien tai muokkaamien reittien kautta. Enimmäkseen hulevedet johdetaan hulevesiviemäriin, mutta vanhoilla keskusta-alueilla on vielä käytössä sekaviemäreitäkin. Erillisviemäroinnissä hulevedet sekä rakenteiden kuivatusvedet johdetaan omassa putkistossaan, erillään jätevesistä. Sekaviemäroinnissä taas hule- ja kuivatusvedet johdetaan jätevesien kanssa yhteisissä putkistoissa. Yleisesti ottaen hulevesiviemäroinneillä tavoitellaan nopeaa pintojen kuivausta ja vesien poisjohtamista. Nykyään, maankäytön tiivistyessä, vanhoja avo-ojiin perustuneita kuivatusratkaisuja on myös korvattu maanalaisilla hulevesiviemäreillä. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Hulevesiä voidaan siis johtaa joko avoimissa järjestelmissä tai putkijärjestelmissä. Avoimia johtamismenetelmiä ovat avo-ojat, purot, viherpainanteet, kourut, kanavat ja

muut avouomavirtaukseen perustuvat johtamismenetelmät, joiden tarkoituksena on huleveden johtaminen siten, että virtaama hidastuu ja epäpuhtauksien laskeutuminen ja imeytyminen mahdollistuu. Putkijärjestelmissä taas hulevesiviemärointi pyritään järjestämään painovoimaisesti, luonnollisia valumareittejä mukaillen sekä luonnolliset valuma-alueajat huomioon ottaen. Hydrologisen kierron kannalta putkiviemärointi on kuitenkin kaukana luonnonmukaisesta menetelmästä eikä se mahdollista hulevesien imeytymistä, jolloin vedet johtuvat liian nopeasti ja käsittelemättöminä purkuvesiin. Tämä aiheuttaa suuria virtaamavaihteluita, rantavyöhykkeen eroosiota sekä vesien tilan heikentymistä. (Suomen kuntaliitto 2012.)

3.3.2 Hulevesien hallinta

Hulevesien hallinnalla tarkoitetaan kokonaisvaltaista ratkaisua, jolla pyritään parantamaan rakennettujen alueiden hydrologista kiertoa ja valunnan laatua, rakentamista edeltänyttä tasoa vastaavaksi. Hyvien ratkaisujen löytäminen edellyttää laaja-alaista, usein valuma-aluelähtöistä, tarkastelua sekä toimenpiteitä hulevesien syntypaikoilta lopullisiin purkupisteisiin saakka. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Maankäyttö- ja rakennuslain muutoksien myötä hulevesien valvonta muuttuu lakisääteiseksi. Lain mukaan kunnan määräämä monijäseninen toimielin valvoo lain säännösten noudattamista. Lisäksi kunta myös vastaa hulevesien hallinnan järjestämisestä asemakaava-alueella ja kunta voi ottaa järjestettäväkseen hulevesien hallinnan muillakin alueilla. Hulevesien hallinnan yleisiksi tavoitteiksi laissa on määritelty;

- 1) hulevesien suunnitelmallisen hallinnan kehittäminen erityisesti asemakaava-alueella;
- 2) hulevesien imeyttäminen ja viivyttäminen niiden kerääntymispaikalla;
- 3) hulevesistä ympäristölle ja kiinteistölle aiheutuvien haittojen ja vahinkojen ehkäiseminen, ottaen huomioon myös ilmaston muuttumisen pitkällä aikavälillä;
- 4) toiminnan edistäminen niin, että hulevesien jätevesiviemäriin johtamisesta luovuttaisiin. (1999/132.)

Kunnan määräämä monijäseninen toimielin voi myös antaa kuntaa tai kunnan osaa koskevia tarkempia määräyksiä hulevesien hallinnasta, jotka voivat koskea:

- 1) hulevesien määrää, laatua, maahan imeyttämistä, viivyttämistä ja tarkkailua sekä hulevesien käsittelyä kiinteistöllä;

- 2) kiinteistön hulevesijärjestelmän liittämistä kunnan hulevesijärjestelmään; ja
- 3) muita näihin rinnastettavia, hulevesien hallintaan liittyviä seikkoja.

Kunnan tulee myös huolehtia siitä, että tarvittaessa ryhdytään toimenpiteisiin kunnan hulevesijärjestelmän ja vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriverkoston toteuttamiseksi tai hulevesien hallitsemiseksi muulla tavoin.

Hulevesien hallinta kaikkineen kuuluu valtion ja kunnan työntekijöille sekä yksityisille toimijoille ja kuntalaisille. Hallinnan tavoitteena on nykyään siirtää painopistettä tapauskohtaisesta ongelmien ratkaisusta suunnitelmallisempaan ongelmien ennaltaehkäisyyn. Erityisen tärkeitä ovat syntypaikalla tehtävät toimenpiteet, joilla ehkäistään hulevesien muodostumista ja vesiin kohdistuvaa laatuhahtaa. Yleisiksi hallinnan tavoitteiksi voidaan listata; taajamien kuivatus ja taajamatulvien torjunta, pohja- ja pintavesien suojele sekä vesien hyvän tilan saavuttaminen. Myös hulevesien kokonaisvaltaisessa hallinnassa ja suunnittelussa, esimerkiksi hulevesistrategioissa, on yleensä joukko priorisoituja periaatteita; hulevesien muodostumisen estäminen; huleveden määrän vähentäminen; johtaminen suodattavalla ja hidastavalla järjestelmällä; johtaminen yleisillä alueilla oleville hidastus- ja viivytyalueille; sekä johtaminen purkuvesiin ja pois alueelta. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Hulevesiviemäroinnin rinnalle on kehitetty myös luonnonmukaisia hulevesien hallinnan toimintatapoja ja rakenteellisia ratkaisuja, joilla voidaan ehkäistä hulevesien muodostumista tai niiden aiheuttamia tulva- ja ympäristöhaittoja. Tällaisia toimitapoja ovat esimerkiksi maankäytön suunnittelu siten, että mahdollisimman paljon alkuperäistä luontoa jätetään rakentamatta tai liikennealueiden mitoitus siten, että läpäisemättömän pinnan määrä on mahdollisimman vähäinen. Luonnonmukaiset hallintamenetelmät voidaan jakaa toimintaperiaatteidensa mukaan hulevesien vähentämiseen, käsittelyyn, viivyttämiseen ja johtamiseen. Kokonsa ja sijoittumisen puolesta voidaan puhua alueellisista ja paikallisista menetelmistä. Paikallisten menetelmien tarkoituksena on vähentää huleveden määrää, tasata huleveden virtaamia ja poistaa huleveden mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia jo mahdollisimman lähellä huleveden syntypaikkaa. Alueellisten menetelmien tarkoituksena lähinnä taas on vähentää ja tasata huleveden aiheuttamaa tulvariskiä. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Hulevesien hallinnassa suunnittelun lähtökohtana tulisi olla paikallisten olosuhteiden tunteminen ja huomioon ottaminen. Hulevesien hallintaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

- paikallisilmasto, esimerkiksi sadanta- ja lämpötila
- maaperä
- vesistöt, pienvedet ja pohjavedet, niiden tila ja käyttö
- pohjavesialueet, pohjaveden laatu ja pinnankorkeus sekä sen vaihtelut
- alueen topografia ja kasvillisuus
- olemassa oleva ja suunniteltu maankäyttö ja läpäisemättömien pintojen ala
- erilaiset suojelukohteet, kulttuuriperintökohteet, jne. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Hulevesien hallintaa suunnitellaan kaikilla kaavoituksen tasoilla, maankäytön suunnittelussa. Vesiolosuhteet voidaan ottaa kaavoituksessa parhaiten huomioon, kun maankäytön suunnittelun lähtökohtana pidetään maastoa ja maisemarakennetta. Parhaiten hulevesien hallintaa voidaan ohjata kunnan laatimalla ja vahvistamalla hulevesiohjelmalla tai –strategialla, jossa määritellään kunnan toimintaperiaatteet ja tavoitteet hulevesien hallinnalle. Hulevesiohjelmassa esitetään toimenpiteet ja niiden toteutuksesta vastuussa olevat kunnan hallintokunnat – kaupunkisuunnittelu, kunnallistekniikka, rakennusvalvonta, ympäristöviranomaisen ja vesihuoltolaitos. Hulevesien hallinnan suunnittelulla esitetään toimenpiteet vesiolosuhteiden tasapainottamiseksi sekä pinta- ja pohjaveden laadun turvaamiseksi. Suunnitelmissa selvitetään hulevesien määrä ja valumareitit sekä ehdotetaan toimenpiteitä hulevesien hallinnan toteuttamiseksi. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Hulevesien hallinta voidaan myös kytkeä pohjavesialueiden suojelun ja kunnostuksen suunnitteluun kaavoitetuilla alueilla, missä ei ole erityisiä hulevesiä koskevia kaavamääräyksiä ja missä ei kaavoja olla muuttamassa. Taajamissa hulevesien merkitys pienvesien tilaan on kasvanut samalla kun jätevesien käsittely on tehostunut. Suunnittelulla voidaan selvittää ja esittää keinoja pienvesien tilan parantamiseen rakennetuilla valuma-alueilla. Pienvesien tilan parantamisessa pääpaino on hulevesien mukanaan kuljettamien aineiden pidättämisessä ja puhdistamisessa. Pienvesistöjen tilaa parannettaessa arvioidaan keskeiset ongelmat ja kuormitusta aiheuttavat kohteet, kuten: laajoilta katopinnoilta hulevesiviemäriin syöksyvät vedet; haitallisia aineita ja paljon hulevesiä aiheuttavat kohteet; hulevesistä aiheutuvat jätevedenpumppaamoiden ja -puhdistamoiden

ylivuodot; hulevesitulvien esiintymisalueet ja liikennealueet. Erityisesti liikenne- ja teollisuusalueilla muodostuvien hulevesien hallinnan suunnittelu edellyttää pohjavesiin kohdistuvien vaikutusten huomioon ottamista. Hulevesien johtamista suoraan putkiviemäriin voidaan ehkäistä esimerkiksi muuttamalla hulevesien johtamista liikenne tai teollisuusalueilta. Näiden usein likaisten hulevesien saaminen käsittelyyn ja viivytykseen on keskeisimpiä hulevesijärjestelmien saneeraustoimenpiteitä. (Suomen kuntaliitto 2012.)

3.3.3 Hulevesien hydrologia ja laatu

Hulevesien laatuun vaikuttaa useita eri kuormitustekijöitä. Yleisimpiä tutkittavia suureita on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 3). Haitta-aineita päätyy hulevesiin mm. kuiva- ja märkälasseumana, liikenteen pakokaasuista, ajoneuvojen ja rakennusmateriaalien korroosiosta, tiemateriaalien kulumisesta sekä liukkaudentorjuntaan käytetyistä aineista. Bakteereja päätyy hulevesiin erityisesti eläinten ulosteista ja jätevesiviemäreiden vuodoista tai väärinkytkenöistä. Muita päästölähteitä ovat maapintojen eroosio, roskat ja jätteet sekä viheralueilla käytetyt lannoitteet ja torjunta-aineet. Teollisuus- ja liikealueilla päästölähteitä ovat mm. lastausalueet, raaka-aineiden ja muiden materiaalien käsittely ja varastointi, kulkuneuvojen huolto ja vuodot. Hulevesien vesistöön aiheuttamien laadullisten vaikutusten lisäksi ne muuttavat valunnan määriä ja virtaamia. (Suomen kuntaliitto 2012.)

<p>Yleiset laatuhavainnot biologinen hapenkulutus (BOD) kemiallinen hapenkulutus (COD) kiintoaine typpi fosfori kloridi suolistoperäiset bakteerit pH sähkönjohtavuus sameus</p>	<p>Torjunta-aineet terbutylatsiini pendimetaaliini fenmedifaami glyfosaatti</p>
<p>Metallit sinkki kadmium kromi(VI) kupari nikkeli lyijy platina</p>	<p>Muut nonyylifenolietoksyylaattit ja sen hajoamistuotteet (esim. nonyylifenoli) pentakloorifenoli 2,4,4'-triklooribifenyylit (PCB-28) Metyylitertiääributyyleetteri (MTBE)</p>
<p>PAH-yhdisteet bentso(a)pyreeni naftaleeni pyreeni</p>	

KUVA 3. Hulevesistä mitattavia suureita (Suomen kuntaliitto 2012).

Maankäytöllä on suuri vaikutus hulevesissä esiintyviin haitta-aineisiin. Mm. havaitut suolistoperäisten bakteerien määrät korreloivat asukastiheyden kanssa. Hulevesien sisältämät myrkylliset orgaaniset yhdisteet taas liittyvät läheisesti maankäyttömuotoon ja erityisesti ajoneuvoliikenteeseen. Useimmat aineet huuhtoutuvatkin vilkkaasti liikennöidyiltä läpäisemättömiltä pinnoilta – liikekeskuksista ja tiealueilta. (Suomen kuntaliitto 2012.)

Huleveden laadun arvioinnissa on erotettava toisistaan pitoisuuden ja kuormituksen käsitteet. Pitoisuus, jonka yksikkönä on tavallisesti mg/l, kuvaa aineen määrää vesitilavuutta kohden. Kuormituksen yksikkö taas on esimerkiksi kg/ km²/a ja se mittaa tietyltä valuma-alueelta (km²) huuhtoutuneen aineen kokonaismäärää (kg) aikayksikössä (a). Hulevesien pitoisuudet kuitenkin vaihtelevat ajan suhteen voimakkaasti ja yksittäiset havainnot tai havaintojen keskiarvot eivät kuvaa hyvin todellista keskimääräistä pitoisuutta. (Suomen kuntaliitto 2012.)

3.3.4 Hulevesien mitoitus ja mallinnus

Hulevesien mitoituksessa tarvitaan mitoitettavan järjestelmän yläpuolisen valuma-alueen sekä mitoitussateen perusominaisuustietoja. Hulevesien hallinnan periaatteena on, että harvinaisestakin rankkasateesta aiheutuva tilanne on tiedettävä etukäteen ja siihen on varauduttava. (Suomen kuntaliitto 2012.) Seuraavaksi on esitelty muutamia mitoituksen peruskäsitteitä.

Valuntakerroin:

Valuntakerroin on käsite, jolla kuvataan alueelta pois virtaavan vesimäärän ja aluesadannan suhdetta. Tätä käsitettä käytetään myös luonnontilaisilla alueilla, mutta erityisen yleisesti taajamahydrologiassa. Etenkin rankkojen sateiden osalta se on keskeinen apuneuvo.

Mittausvirtaama:

Mitoitusvirtaama määritellään yksinkertaisimmillaan kaavalla:

$$Q = C * i * A,$$

jossa Q [l/s] on mitoitusvirtaama, C valumakerroin, i [l/(s*ha)] mitoitussateen keskimääräinen intensiteetti ja A [ha] valuma-alueen pinta-ala.

Huleveden määrä:

Huleveden määrä eli tilavuus määritellään kaavalla:

$$V = (C * i * A * t) / 1000,$$

jossa V [m³] on hulevesien määrä eli tilavuus, t [s] mitoitussateen kesto aika ja muut tekijät ovat samoja kuin mittausvirtaaman kaavassa.

Huleveden määrä voidaan määrittää myös sademäärän avulla, kaavalla:

$$V = (C * P * A) * 100,$$

jossa V [m³] on hulevesien määrä eli tilavuus, P [mm] sademäärä ja muut tekijät ovat samoja kuin mittausvirtaaman kaavassa.

Hulevesijärjestelmien mitoitus edellyttää lähes väistämättä jonkin mallinnusohjelman käyttöä, jos halutaan tarkastella intensiteetiltään vaihtelevien tai mitoituksen ylittävien sateiden aiheuttamia vaikutuksia. Mallinnusohjelmilla tulee voida yhdistää valuma-aluemalli ja verkostomalli. Valuma-aluemalli kertoo kuinka paljon ja missä ajassa hulevesiä valuma-alueelta muodostuu ja verkostomalliin on puolestaan mallinnettu ne järjestelmät, joita käytetään muodostuneen huleveden johtamiseen ja käsittelyyn. Mallinnuksen ongelmana on mallin antaman tuloksen yhteensovittaminen todellisuudessa havaitun tilanteen kanssa. (Suomen kuntaliitto 2012.)

3.4 Hydrologinen mallinnus

Vesistön tilaa sekä ravinteiden ja haitta-aineiden pitoisuuksia ja niiden kulkeutumista voidaan mallintaa ja ennakoida erilaisilla paikkatietopohjaisilla ohjelmilla. Haitallisen aineen kulkeutuminen vesistöissä on monimutkainen tapahtuma, jossa aine siirtyy paikasta toiseen, laimenee, muuntuu tai hajoaa. Kaikkien eri osatekijöiden huomioiminen on usein mahdotonta, mutta hyvä ennuste voidaan kuitenkin saavuttaa tärkeimpien prosessien huolellisella mallintamisella. (Ropponen, 2015.) Tulevaisuudessa mallinnusta tullaan todennäköisesti käyttämään enenevissä määrin hyödyksi vesistöjen mallinnuksessa ja hallintatoimenpiteiden suunnittelussa.

Suomessa on täällä hetkellä viranomaiskäytössä ravinnekuormituksen kokonaisvaltaisen mallinnus- ja arviointijärjestelmä VEMALA, joka laskee jatkuvasti kuormituksen

Suomen vesistöistä Itämereen. VEMALA simuloi ravinneprosesseja sekä huuhtoutumista ja kulkeutumista maalla, joissa ja järvissä. Lisäksi se mallintaa Suomen vesistöistä jokien kautta Itämereen tulevaa ravinnekuormaa. Ohjelmaa käytetään nykyisten ravinnekuormien määrittämiseen vesipuitedirektiivin täytäntöönpanoa varten. Ohjelmaa voidaan myös käyttää ravinnekuormituksen vähentämistoimenpiteiden suunnitteluun ja arviointiin sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointiin. (SYKE 2015b.)

Toinen esimerkki mallinnusohjelmistoryhmästä on DHI:n (Danish Hydraulic Institute) MIKE- ohjelmisto. Ohjelmisto-paketilla voidaan mitata ja simuloida muun muassa, korkeuksia, veden määriä ja ravinne sekä haitta-aine konsentraatioita. Sovelluksen eri osat kattavat alueita kuten: jokien hydrodynamiikka; tekojärvien ja altaiden toimiva ylläpito ja seuraus; patojen murtumiset; tulvien laajuus, vaurioiden arviointi ym.; tulvien ennustaminen reaaliajassa; sedimenttien liikkuvuus; vesien laatu (kosteikot, rehevöityneet alueet, vesien suolaisuus jne.) sekä jokien ennalleen palauttaminen. (DHI 2014.)

4 VEDEN LAADUN PARAMETRIT

Veden ja vesistön laatua voidaan tutkia erilaisten kemiallisten ja mikrobiologisten veden laadun parametrien avulla. Seuraavaksi on esitelty parametreja, joita hulevesinäytteistä tutkittiin. Alla esitellyt mitattavat suureet on myös listattu yleisiksi hulevesien laatuhavaintosuureiksi Suomen kuntaliiton hulevesioppaassa (Suomen kuntaliitto 2012).

4.1 pH

Veden pH-arvo kuvaa veden happamuutta tai emäksisyyttä. Suomen järvissä pH- arvo on normaalisti välillä 6,5–7,5 ja pohjavedet ovat tyypillisesti happamia, eli pH alle 7. Happamuutta aiheuttaa aggressiivinen hiilihappo, joka tekee vedestä syövyttävää. Syövyttävä vesi voi esimerkiksi vahingoittaa metalliputkia ja aiheuttaa vakaviakin vesivahtoja. Veden happamuutta lisäävät mm. valuma-alueilla olevat suot, ilmakehän hapan laskeuma sekä teollisuuden happamat jätevedet. Kun pH laskee alle 6,0 voidaan puhua happamoitumisesta. Happamuuden lisääntyessä vesistön kaikkien eliöryhmien lajimäärä vähenee. Mm. suoalueiden ojitukset näkyvät humusleiman voimistumisena ja

veden happamoitumisena. Kesäisin pintavesissä esiintyvä korkea pH taas on osoitus vilkkaasta levätuotannosta. (KVVY ry 2015.)

Normaalisti pH on talvella hieman alhaisempi kuin kesällä. Myös hapan laskeuma on osaltaan alentamassa vesiemme pH-tasoa. Koska puskurikyky on huono (pieni alkali-teetti eli hapensitomiskyky) vähäinenkin happokuorma riittää vesien happamoitumiseen. Eliöstössä happamoituminen alkaa tuntua, kun pH laskee tason 6,0 alapuolelle. Ensiksi katoavat simpukat, kotilot ja ravut. (Oravainen 1999.)

4.2 Sameus

Sameus kuvaa veden kirkkautta. Veden sameus johtuu useimmiten savesta, raudasta, levistä ym. eikä sillä ole terveydellisiä haittavaikutuksia. Tavallisesti kesäisin vedet ovat sameampia kuin talvisin johtuen kesällä päällysvesissä esiintyvistä leväsamedesta. Lisäksi jokivedet ovat yleensä sameampia kuin järvivedet, voimakkaamman eroosion takia. Kevättulvien aikaan rannikon joet ovat erittäin sameita (sameus jopa yli 100 FTU). Lisäksi sameuden vaihtelu on jokivesissä voimakasta vuodenajasta ja sadanasta riippuen. (Oravainen 1999.) Suomen kirkasvetisissä vesistöissä sameus on alle 1,0 FTU ja silmin nähden sameaksi havaittavien vesien sameusarvo on yleensä 5-10 FTU tai suurempi. Talousvedelle sameuden tavoitetaso on 1,0 NTU/FTU. (KVVY ry 2015.)

4.3 Sähkönjohtavuus

Sähkönjohtavuus kuvaa veteen liuenneiden suolojen, kuten natrium, kalium ja kloridi, (/natriumkloridi NaCl) määrää eli suuri sähkönjohtavuuden arvo kertoo korkeasta suolapitoisuudesta. Suomen pohjavesien sähkönjohtavuus on yleensä < 40 mS/m eli millisiemensia per metri. Sisävesien sähkönjohtavuus taas on erittäin pieni, 3,5- 10 mS/m. Vesistöjen suolapitoisuus kuitenkin lisääntyy koko ajan sadeveden, likaantumisen, peltojen lannoituksen, tiesuolauksen, sekä yleisen ympäristön nuhraantumisen takia. (KVVY ry 2015.) Voimakkaimmin suolojen määrää lisäävät jätevedet sekä peltolannoitus. Jätevesien sähkönjohtavuus vaihtelee välillä 50- 100 mS/m, ja voimakkaasti viljellyillä alueilla sähkönjohtavuus on luokkaa 15- 20mS/m (Oravainen 1999).

Sisävesissä sähkönjohtavuutta lisäävät lähinnä natrium, kalium, kalsium, magnesium (kationeja) sekä kloridit ja sulfaatit (anioneja). Yleisesti ottaen kuitenkin Suomen vedet ovat vähäsuolaisia, sillä kallioperä on heikosti rapautuvaa. Talvella sähkönjohtavuuden arvo kohoaa lievästi, mutta vuodenaikaisvaihtelu on vähäistä. Tavallisesti sähkönjohtavuus kasvaa veden pinnasta pohjalle siirryttäessä. Orgaanisen aineen hajotessa vapautuu suoloja veteen, jotka lisäävät sähkönjohtavuutta. Voimakas muutos alusvedessä on yleensä merkkijätevesien kertymisestä pohjalle. Sähkönjohtavuudella voidaankin siten selvittää jätevesien kulkeutumista vesistöissä. (Oravainen 1999.)

4.4 Enterokokit

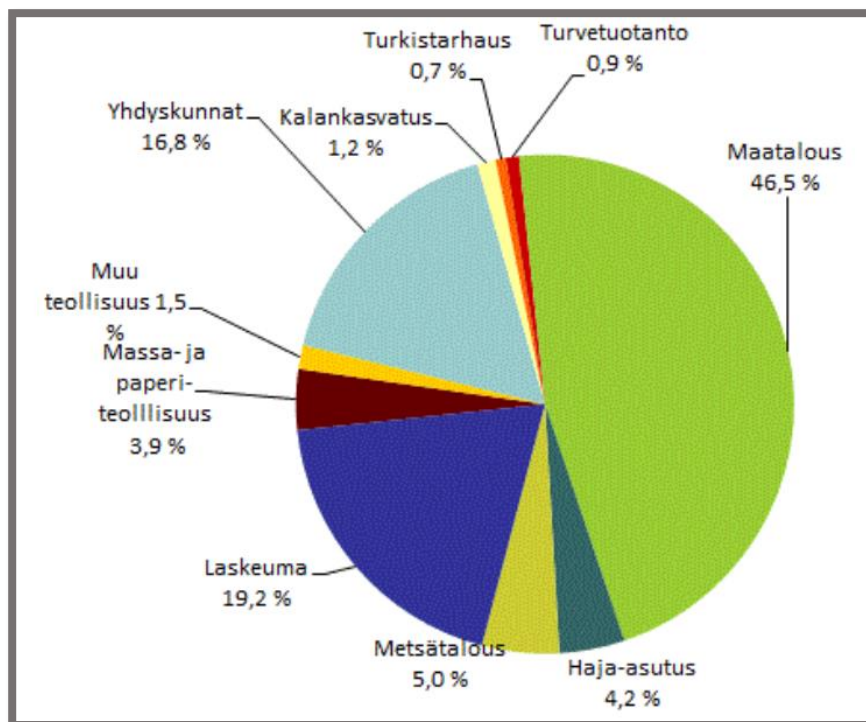
Enterokokki-bakteerit ovat suolistoperäisiä bakteereja. *Enterococcus*- bakteerisukuun kuuluu nykyään yli 20 lajia. *Enterokokit* ovat kasvuvaatimuksiltaan hyvin joustavia ja ne voivat kasvaa hyvin suolaisessa ympäristössä, laajalla lämpötila-alueella sekä korkeassa pH:ssa. *Enterokokit* myös pysyvät hajottamaan eskuliinia ja sietävät sappisuoloja. Ihmiselle *Enterokokit* voivat aiheuttaa infektioita (Hedman ym. 2010, 126-127.) Luonnonvesistöjen vedentutkimuksessa *enterokokki*-bakteerit yleensä ilmaisevat ulosteperäistä saastumista. Kuitenkin, joskus vedestä löydetty *enterokokit* voivat olla peräisin myös muista elinympäristöistä. Talousvedessä *Enterokokeille* on asetettu laatuvaatimus 0 pmy/100ml. (Watman 2010.)

4.5 Escherichia Coli ja koliformiset bakteerit

Koliformisten bakteereiden määrä kuvaa veden hygieenistä laatua. Koliformiset bakteerit voivat olla peräisin ulosteiden lisäksi myös maaperästä, kasveista tai jätevesistä. Koliformisten bakteereiden esiintyminen ei siten ole varma merkki ulosteen aiheuttamasta saastumisesta, vaan se indikoi yleistä likaantumista. Koliformisille bakteereille laatuvaatimus talousvedessä on alle 100 pmy/ 100 ml. Esimerkiksi kaivovesissä saattaa esiintyä koliformisia bakteereita, jotka ovat merkki pintavesien pääsystä kaivoon. *E. colien* eli ulosteperäisten bakteerien esiintyminen taas johtuu jätevesien pääsystä kaivoon. *Escherichia coli*- bakteerin esiintymistä vedessä pidetään parhaimpana ulosteperäisen saastumisen indikaattorina. Talousvedessä *E. colille* on asetettu laatuvaatimus 0 pmy/100ml. (Watman 2010.)

4.6 Typpiyhdisteet

Kokonaistyyppi ilmoittaa veden typpipitoisuuden, johon sisältyvät kaikki eri tyypin esiintymismuodot, kuten orgaaninen typpi ja epäorgaaniset muodot. Vesistöihin tulee tyyppiä jätevesien, valumavesien ja sadevesien mukana. Typpi on ravinne, jota päätyy vesistöihin lähinnä lannoitteista, jätevesistä sekä orgaanisten aineiden hajoamistuotteena. Tavallisesti veden ravinnetason nousu voi aiheutua joko suorasta jätevesikuormituksesta tai muutoksista vesistöjen valuma-alueilla. Yleisiä kuormitustekijöitä ovat voimaperäinen maatalous, runsas haja-asutus tai metsien lannoitus. (KVVY ry 2015.) Seuraavassa kuvassa on esitetty typpipäästölähteiden osuuksia Suomessa (Kuva 4).

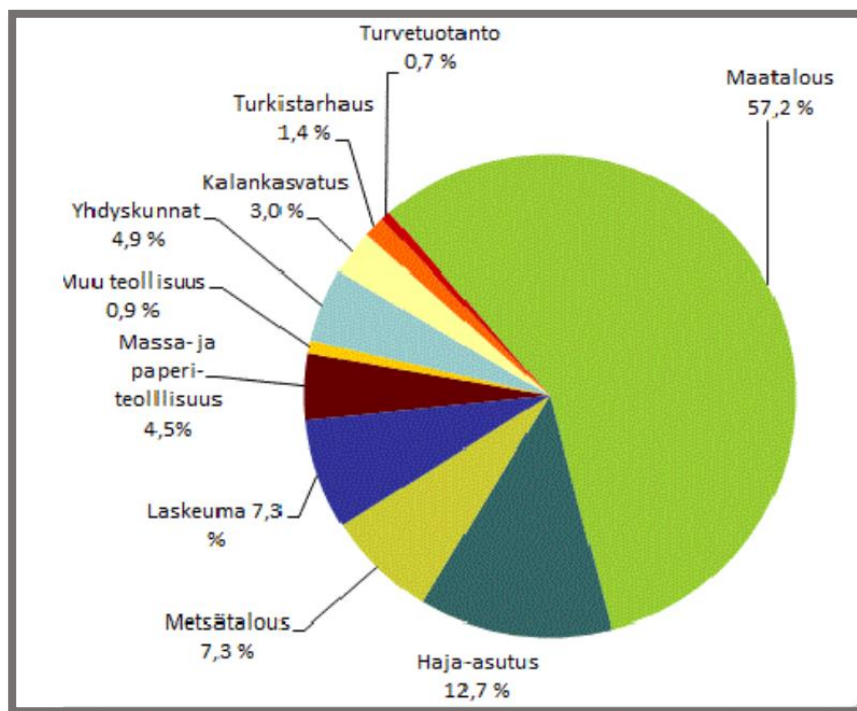


KUVA 4. Typpipäästölähteet (SYKE 2014).

Pitoisuudet ilmoitetaan luonnonvesissä typpinä $\mu\text{g/l}$ ja jätevesissä käytetään laatua mg/l ($=1000 \mu\text{g/l}$). Kokonaistyyppipitoisuus on luonnontilaisessa järvestä noin $500 \mu\text{g/l}$. Luonnontilaisten kirkkaiden vesien typpipitoisuus on $200\text{--}500 \mu\text{gN/l}$. Humusvesissä taso on hiukan korkeampi, välillä $400\text{--}800 \mu\text{gN/l}$. Hyvin ruskeissa vesissä tyyppiä on luonnostaakin yli $1000 \mu\text{g/l}$. (Oravainen 1999.) Tavallisesti kuitenkin yli $1000 \mu\text{g/l}$ pitoisuustason ylitystä voidaan pitää osoituksena kuormitustason noususta. (KVVY ry 2015.)

4.7 Fosfori

Kokonaisfosfori kuvaa fosforin kokonaismäärää vedessä. Fosfori on tärkeä ja välttämätön ravinne kasveille ja leville. Liiallinen ravinnekuorma kuitenkin rehevöittää vesistöä ja aiheuttaa muutoksia lajistoon sekä koko vesistön ekosysteemiin. Fosforin suurin kuormituslähde on maatalous ja lisäksi muita kuormittajia ovat esimerkiksi teollisuus ja metsätalous. (Kuva 5). Kokonaisfosforipitoisuus on luonnontilaisessa järvessä 12 µg/l tai pienempi. Lievää rehevyyttä osoittaa pitoisuustaso 12- 30 µg/l, jolloin alusvedessä alkaa ilmetä happivajasta. Vesistöjä, joiden päällysveden fosforipitoisuus on 30- 50 µg/l, voidaan pitää rehevinä. (KVVY ry 2015.)



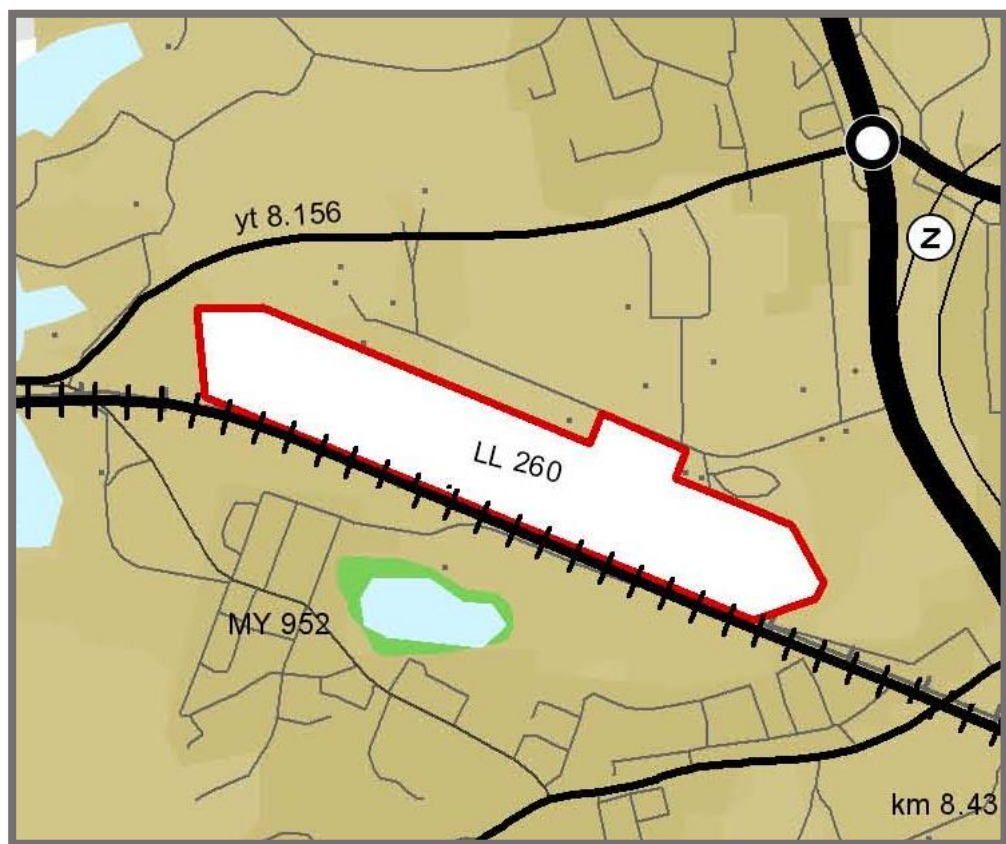
KUVA 5. Fosforipäästölähteet (SYKE 2014).

5 TUTKIMUSALUE JA TUTKIMUSPISTEET

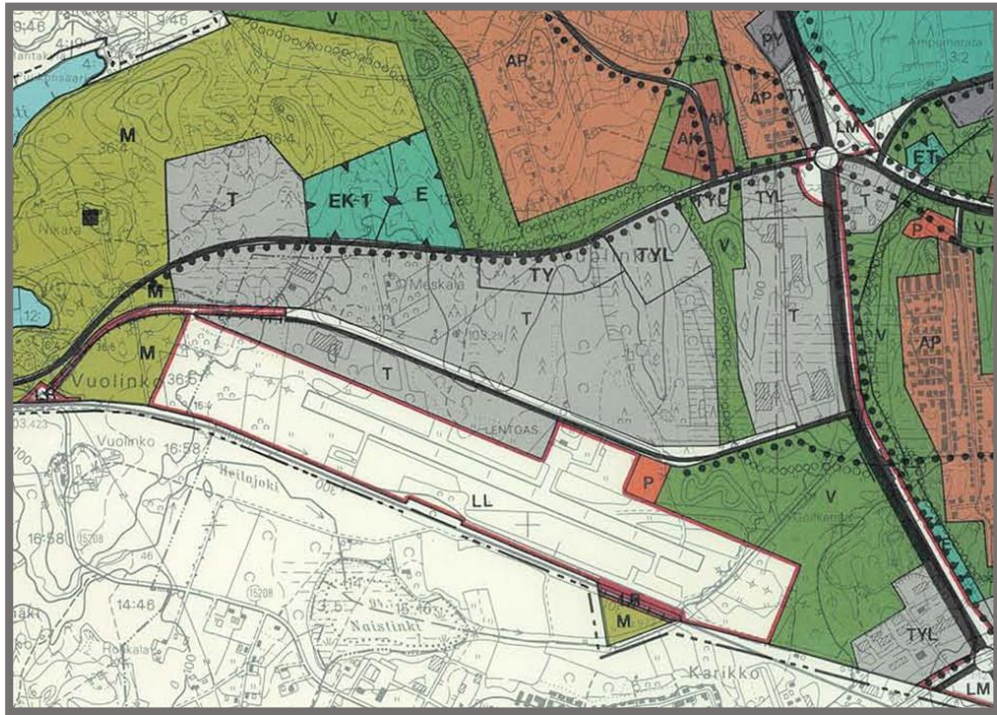
5.1 Tutkimusalueen sijainti ja maankäyttö

Työn tutkimusalueena oli Mikkelin lentokentän ja Tuskun teollisuusalueen muodostama valuma-alue. Alue sijaitsee Mikkelin kaupungissa, kaupunkikeskuksesta länteen.

Alueen kartta on työn liitteenä (Liite 1). Alue ei sijaitse pohjavesialueella. (Maanmittauslaitos 2014.) Alueella ei myöskään ole ympäristönsuojelun kannalta merkittäviä suojelu- tai kulttuurikohteita (Etelä- Savon maakuntaliitto 2014). Alueella on hulevesiviemäröinti ja -ojasto, mutta hulevesien käsittely on puutteellista (Tanskanen 2014). Etelä- Savon maakuntakaavassa (Kuva 6.) alue on merkitty taajamatoimintojen alueeksi (Etelä- Savon maakuntaliitto 2010). Mikkelin yleiskaavassa (Kuva 7.) taas alue on jaoteltu teollisuus ja varastoalueiksi (T), ympäristöhäiriötä aiheuttamattomiksi teollisuuden alueiksi (TY) sekä ympäristöhäiriötä aiheuttamattomien teollisuuden ja liiketoimintojen alueiksi (TYL) (Mikkelin kaupungin tekninen virasto 1990a).



KUVA 6. Tutkimusalue: ote Etelä- Savon maakuntakaavasta (Etelä- Savon maakuntaliitto 2010).

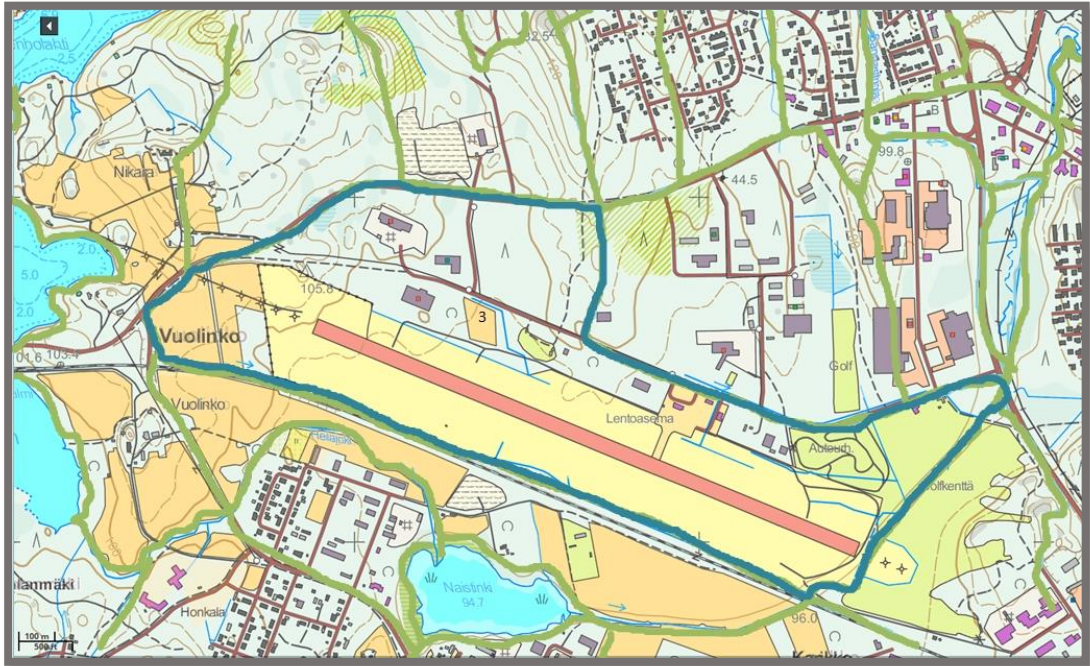


KUVA 7. Tutkimusalue: ote Mikkelin yleiskaavasta (Mikkelin kaupungin tekninen virasto 1990b).

Myös asemakaavassa alue on teollisuusaluetta. Alueella on erilaista teollisuus-, rakennus-, kuljetus ja varastointi-, sekä vesi-viemäri ja jätevesihuoltotoimintaa. Osa teollisuusalueiksi luetuista alueista on joutomaata. Teollisuusalueiden välissä on myös maa-lohkoja, jotka toimivat virkistysalueina. (Mikkelin kaupunki 2014.)

5.2 Hulevesien valuma-alue

Mikkelin kaupungille on laadittu hulevesiohjelma, jossa kartoitettiin hulevesien hallinnan nykytilaa ja ongelmakohtia sekä etsittiin ratkaisuja ongelmakohtiin. Ohjelmassa myös määriteltiin tavoitteita ja toimenpiteitä hulevesien parempaa hallintaa varten. Lisäksi ohjelmassa määriteltiin Mikkelin kaupunkialueen valuma-alue-rajat. Suurimman hulevesialueen Mikkelin kaupunkialueella muodostaa lentokenttä ja sen pohjoispuolella oleva teollisuusalue. Alla olevassa kuvassa (Kuva 8.) on esitetty hulevesiohjelmassa määritellyt valuma-alue-rajat tämän työn tutkimusalueelle. Tutkimusalueen valuma-alue-rajat on merkattu sinisellä, ympäröivien alueiden rajat vihreällä. Hulevesiohjelmassa valuma-alue on merkitty tunnuksella 216SW ja alueen pinta-ala on n.120 Ha. (Mikkelin kaupunki 2014.) Tuskun ja lentokentän hulevesialueilta valuvat vedet vaikuttavat Siekkilänjokeen ja sieltä edelleen seitsennimisen joen laatuun.



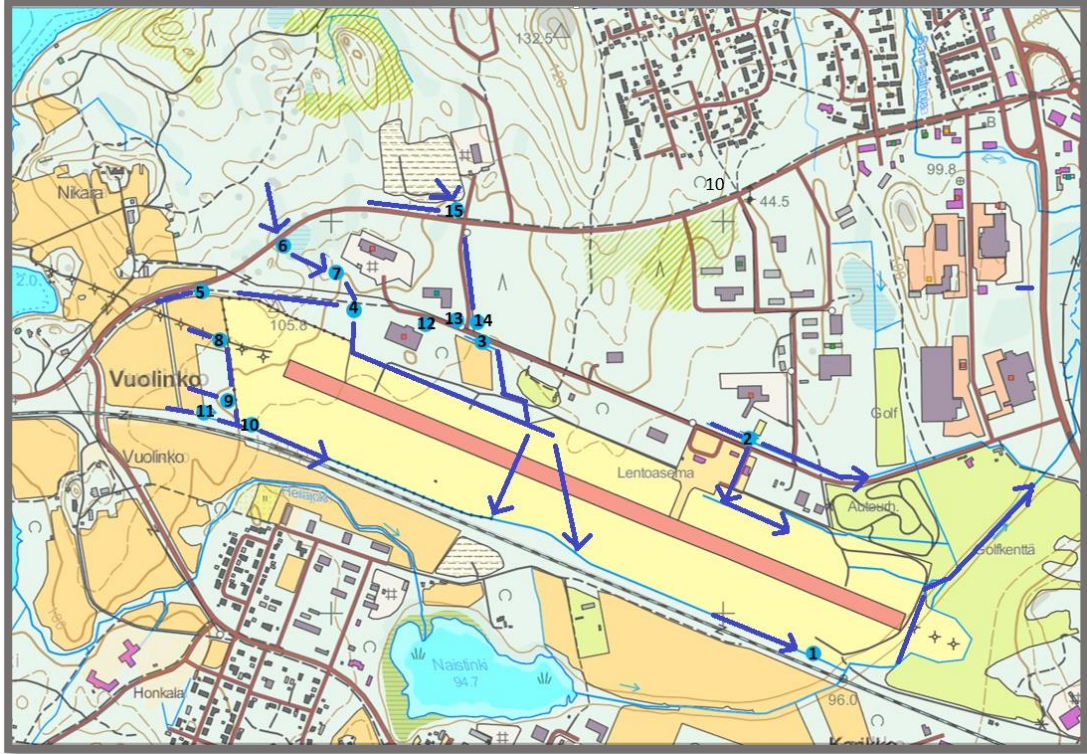
KUVA 8. Tutkimusalueen hulevesialueiden rajaukset Mikkelin kaupungin hulevesiohjelman mukaan.

5.3 Näytteenotto ja tutkimuspisteet

Tutkimusalueella tehtiin syksyllä ja talvella 2014- 2015 viikkojen 48-2 aikana sekä viikoilla 12–13 vesinäytteenottoja. Viikoilla 46 ja 47 alueen jokiuomastoa kartoitettiin ja valittiin näytteenottopisteet. Tutkimusalue ja analyysisarjan 1, 2 ja 3. näytteenottopisteet on esitetty alla olevissa kuvissa sarjoittain (Kuvat 9, 10 ja 11) sekä koontikuvana työn liitteenä (Liite 1). Kuvissa nuolet kuvaavat veden virtaussuuntia ja numeroilla merkityt ympyrät näytteenottopisteitä.

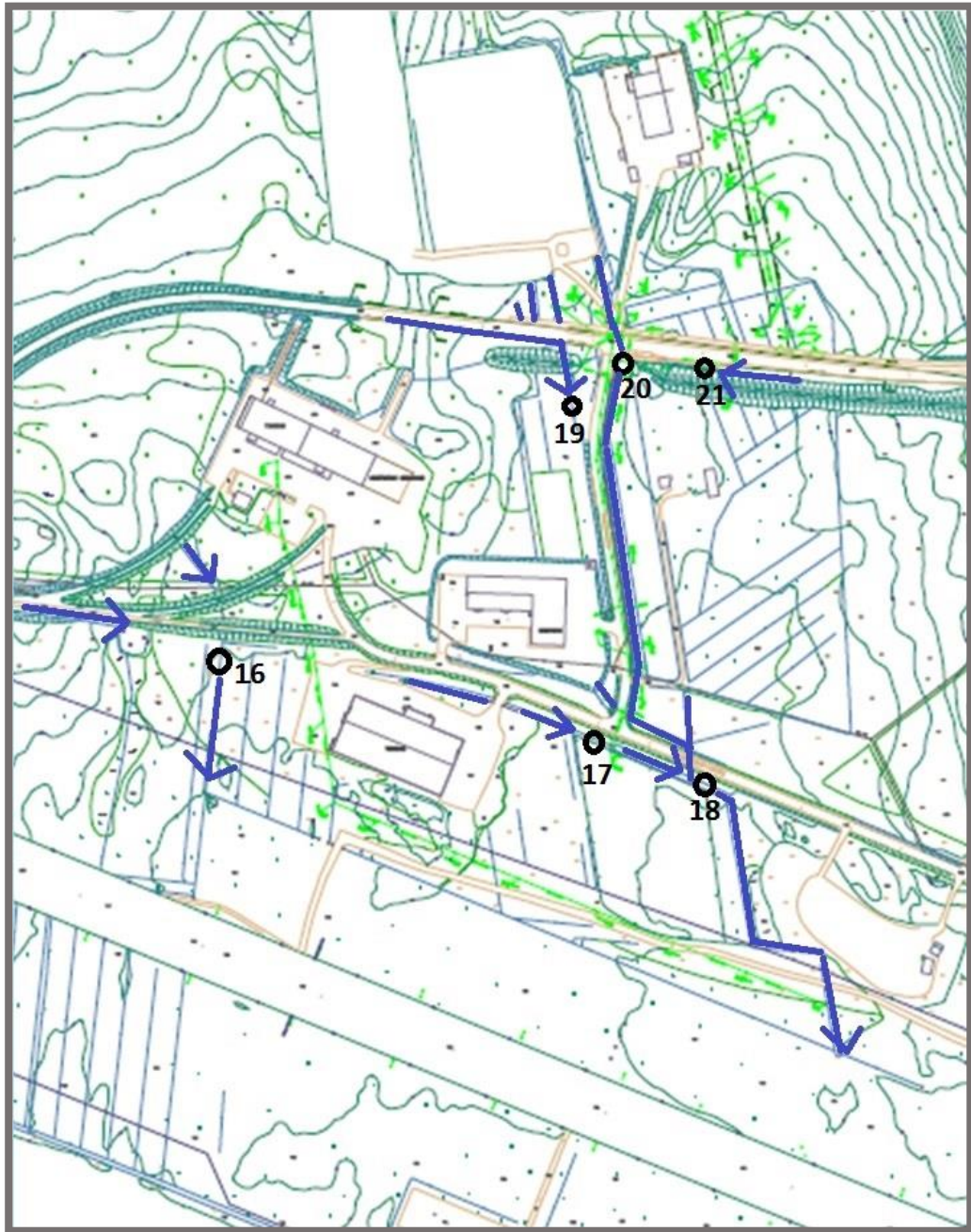
Ensimmäiset otetut näytteet olivat kartoitusnäytteitä, joilla pyrittiin hahmottamaan valuma-alueen eri lohkoilta tulevien vesien laatua. Tutkimuspiste 1. on sama kuin aiempien tutkimuksien näytteenottopiste, jossa korkeita bakteeripitoisuuksia oli havaittu. Vesiä tarkasteltiin mittaamalla näytteistä pH, sameus ja sähkönjohtavuus. Tätä sarjaa kutsutaan tulososiossa nimellä analyysisarja 1. Näitä analyysyjä varten kartoitusnäytteitä otettiin 250 ml muovipulloihin, ja näytteistä tehtiin kemialliset analyysit laboratoriolta näytteenottopäivänä tai näytteenoton jälkeisenä päivänä. Lisäksi analyysisarjan 1. näytteenottopisteiltä otettiin 1 l muovipulloihin rinnakkaiset näytteet, jotka pakastettiin

mahdollista jatkokäyttöä ja kemiallista analysointia varten. Analyysisarjan 1. näytteenotot tehtiin 27.11.2014 ja 2.12.2014 ja näytteitä otettiin yhteensä 15 kpl (Kuva 9). Näytteenotot aloitettiin aikana, jolloin sadanta ja siitä seuraava valunta oli suurta.



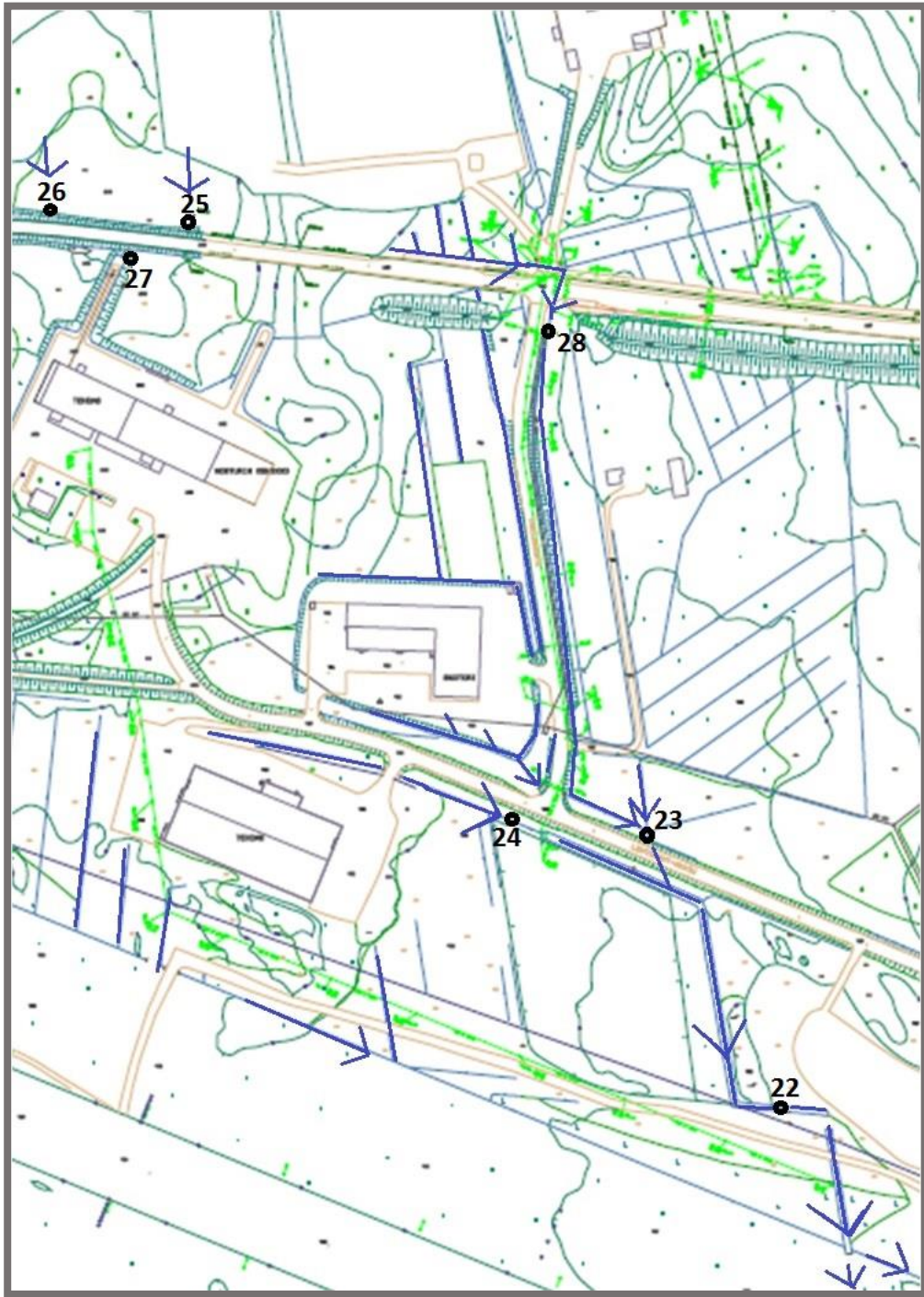
KUVA 9. Analyysisarja 1: tutkimuspisteet 1-15.

Kartoittavien mittausten perusteella, alueilta tehtiin tarkentavia ja paikantavia mittauksia korkeimpien sameuden ja sähköjohtavuusarvojen perusteella. Tätä näytesarjaa kutsutaan tulosiosissa nimellä analyysisarja 2. Tämä analyysisarja sisälsi samat analyysit kuin sarja yksi, sekä lisäksi enterokkien, koliformisten bakteerien ja *E. colin* määritykset. Sarjan 2 näytteenottopisteiltä otettiin analyysijä varten näytteitä 250 ml ja 1 litran steriileihin pulloihin. Lisäksi otettiin 1 l muovipulloihin rinnakkaisnäytteet, jotka pakastettiin kemiallisia jatkoanalyysijä varten. Analyysisarjan 2 näytteitä otettiin 6 kpl, ja näytteenottopäivä oli 16.12.2014. Analyysisarjan 2. näytepisteet on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 10).

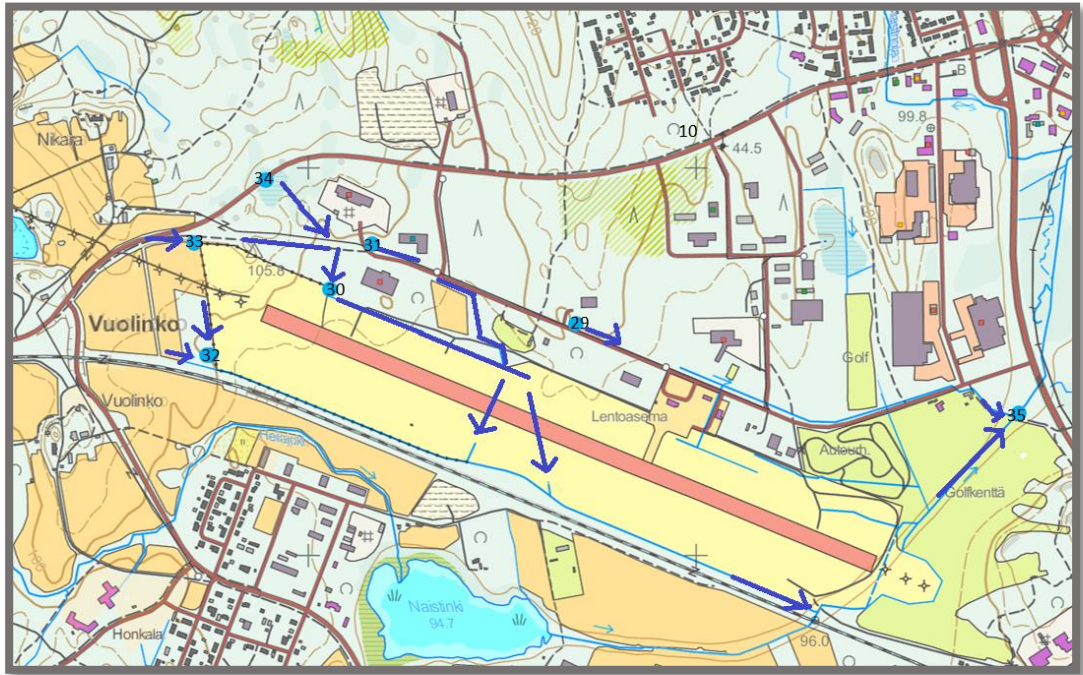


KUVA 10. Analyysisarja 2: tutkimuspisteet 16–21.

Maaliskuussa 2015 tehtiin vielä tarkentavia näytteenottoja 14 pisteestä, joiden tuloksia kutsutaan tulososiossa nimellä analyysisarja 3. Näytteistä tehtiin samat analyysit kuin Analyysisarjasta 2. Näytteenotot tehtiin 16.3.2015 ja 24.3.2015, ajankohtana, jolloin ilman lämpötila alkoi kohoamaan, ja lumen sulaminen sekä valunta oli suurta. Analyysijä varten otettiin näytteitä 250 ml ja 1 litran steriileihin pulloihin, sekä 1 l muovipulloihin rinnakkaisnäytteet, jotka pakastettiin kemiallisia jatkoanalyysijä varten. Alla olevissa kuvissa (Kuvat 11 ja 12) on esitetty analyysisarjan 3 pisteet eri näytteenottopäivien mukaisesti jaoteltuna.



KUVA 11. Analyysisarja 3: tutkimuspisteet 22–28.



KUVA 12. Analyysisarja 3: tutkimuspisteet 29–35.

Kaikista kolmen analyysisarjan näytteistä valittiin vielä kahdeksan näytepistettä, joiden pakkausnäytteistä määritettiin kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori. Nämä näytteenottopisteet olivat: A1-1, A1-10, A2-20, A3-22, A3-25, A3-30, A3-31 ja A3-35.

6 ANALYYSIT JA MENETELMÄT

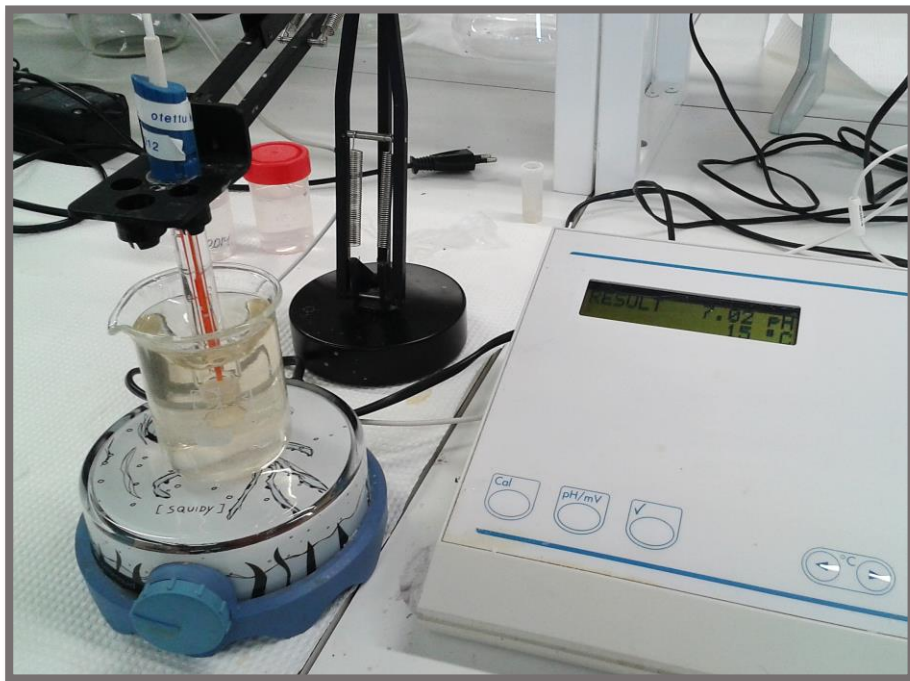
Tutkittavan veden laatua arvioitiin eri parametrien avulla. Analyysit tehtiin mittalaitteilla näytteenottoaikalla tai Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriolla; kemian tai mikrobiologian laboratorioissa. Näytteenottoaikalla tehtiin satunnaisia virtausmittauksia sekä lämpötilamittauksia, muut analyysit tehtiin Mamkin ympäristölaboratoriolla. Bakteerianalyysit tehtiin näytteenottopäivänä. pH, sameus ja sähkönjohtavuus analysoitiin samana tai näytteenotosta seuraavana päivänä. Mikäli analysointi tehtiin vasta seuraavana päivänä, näytteet säilytettiin yön yli viileässä varastossa. Typen ja fosforin analyysit tehtiin myöhemmin, pakkasessa säilytyistä näytteistä.

6.1 Lämpötila

Lämpötiloja mitattiin mittauspaikalla flowatch mittarilla tai lämpömittarilla laboratoriossa näytteitä analysoitaessa.

6.2 pH

Vesinäytteiden pH arvo eli happamuus mitattiin laboratoriossa pH-arvon SFS 3021 -standardin mukaan. Standardi soveltuu kaikentyyppisten vesien pH-arvon määrittämiseen laboratorio- ja kenttä-olosuhteissa. Veden happamuus määritettiin potentiometrisesti pH – mittarilla eli PHM210 standardimittarilla (Kuva 13). pH- mittaus tehtiin kaikille näytteille. Ennen jokaista näytesarjaa pH- mittari kalibroitiin kahdella puskuriliuoksella (pH 4 ja pH 7). Mittausvirheiden minimoimiseksi kaikkien näytteiden pH:t mitattiin 2-3 kertaa. Standardin mukaisesti pH tulisi mitata $+ 25\text{ C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, mikäli mahdollista. Mittaustilanteissa näytteiden lämpötilat olivat muutaman asteen matalampia ja se saattoi hieman vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. pH- mittarin oletuslämpötila-arvo kuitenkin asetettiin lähelle vesien lämpötilaa mittaushetkellä ($+ 10 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$).



KUVA 13. pH:n mittaus.

6.3 Sameus

Sameus määritettiin kaikista näytteistä standardin SFS-EN ISO 7027 mukaan käyttäen optista sameusmittaria (Kuva 14). Menetelmä perustuu hajaantuneen säteilyn mittaukseen ja se soveltuu lievästi sameille vesille. Tällä menetelmällä mitattu sameus ilmoitetaan FNU/ NTU-yksikköinä (formazine nephelometric units). Ennen jokaista näytesarjaa sameus-mittari kalibroitiin neljällä standardiliuoksella. Mittausvirheiden minimoimiseksi kaikkien näytteiden sameudet mitattiin 2 -3 kertaa.



KUVA 14. Sameusmittari.

6.4 Sähkönjohtavuus

Veden sähkönjohtavuus eli veteen liuenneiden suolojen määrä määritettiin WTW LF 340 mittalaitteella, SFS-EN 27888 -standardin mukaan, kaikista otetuista näytteistä (Kuva 15). Standardissa esitetään kaiken tyyppisten vesien sähkönjohtavuuden mittausmenetelmät. Ennen jokaista näytesarjaa mittari kalibroitiin 0,01 mol/l kaliumkloridin standardiliuoksella. Standardin mukaisesti näytteet tulisi temperoida + 25 °C:n referenssilämpötilaan, tai muussa tapauksessa lisätä tuloksiin lämpötilan korjauskertoimet.

Virheiden minimoimiseksi kaikkien näytteiden sähkönjohtavuudet mitattiin 2-3 kertaa ja tuloksissa käytettiin matemaattista lämpötilakorjausta.



KUVA 15. Sähkönjohtavuuden mittari.

6.5 Enterokokit

Enterokokki- bakteerien määritykset tehtiin standardin SFS- EN ISO 7899-2 mukaisella kalvosuodatusmenetelmällä. Standardi kuvaa menetelmän suolistoperäisten enterokokkien havaitsemiseksi ja laskemiseksi vedestä. Menetelmä on tarkoitettu erityisesti puhaiden vesien, kuten juomaveden tutkimiseen, mutta sitä voidaan kuitenkin soveltaa kaiken tyyppisiin vesiin, mikäli mukana ei ole suuria määriä suspendoitunutta ainetta tai paljon häiritseviä mikro-organismeja. Menetelmä soveltuu vähän enterokokkeja sisältävien suurien vesimäärien tutkintaan. Enterokokkibakteeri-pitoisuudet määritettiin kaikista analyysisarjan 2 ja analyysisarjan 3 näytteistä.

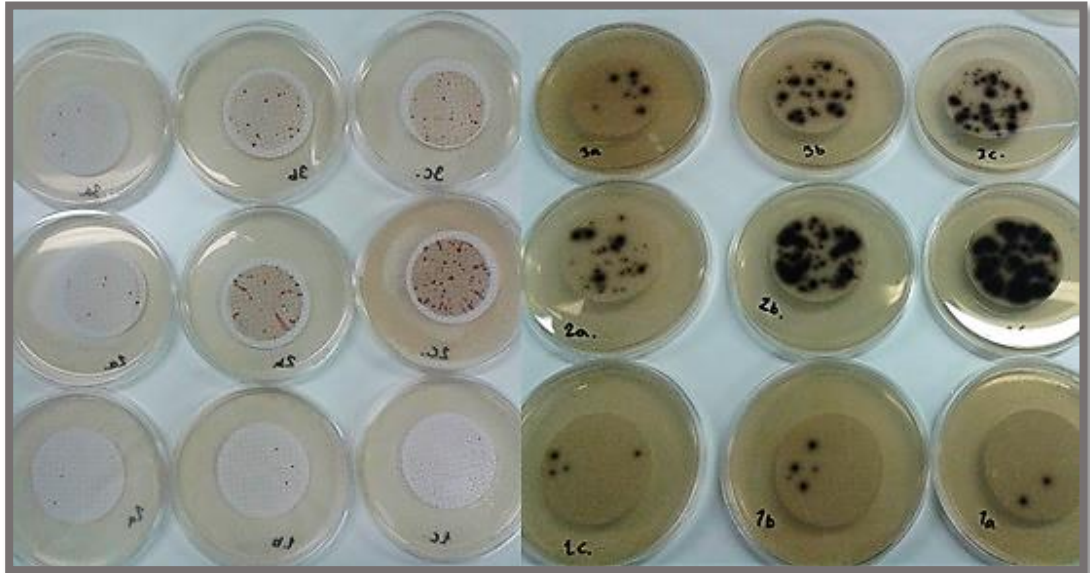


KUVA 16. Kalvosuodatuslaitteisto.

Suolistoperäisten enterokokkien laskeminen perustuu tarkasti määrätyn vesinäyttemäärän suodatukseen kalvosuodattimen läpi, jonka koko on tarpeeksi pieni pidättämään bakteereita. Näytteiden analysointi aloitettiin heti näytteenoton jälkeen. Jokaista näytettä suodatettiin 100 ml, 200 ml ja 300 ml kalvosuodatuslaitteistolla (Kuva 16) suodatinkalvon läpi.

Suodatuksen jälkeen suodatinkalvot asetettiin kiinteälle, petrimaljalle valetulle, valikoi-valle Slanetz- bartleyn kasvialustalle, jonka jälkeen maljoja inkuboitii $36\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$:n lämpötilassa 44 ± 4 h ajan. Kasvialustassa on natrium atsidia ja 2,3,5- trifenyylitetraatsolium kloridia, väritöntä ainetta, jonka enterokokit muuttavat punaiseksi formatsaaniiksi. Tyypilliset muodostuvat pesäkkeet ovat kohonneita ja niiden keskusta tai koko pesäke on punainen, punaruskea tai vaaleanpunainen (Kuva 17). Havaittaessa tyypillisiä pesäkkeitä, niiden varmistus on välttämätön. Suodatinkalvot pesäkkeineen siirrettiin sappi-eskuliini agarille (esilämmitetty 44 °C :een) ja inkuboitii $44\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$:ssa 2 h ajan. Suolistoperäiset enterokokit hydrolysoituvat kasvialustalla kahdessa tunnissa. Lopputuloksena syntyy väriltään kullanuskeasta mustaan oleva yhdiste, joka leviää

kasvualustaan (Kuva 17). Inkuboinnin jälkeen maljojen pesäkkeet laskettiin välittömästi. Kaikkien kasvualustassa ilmenevien tyypillisten pesäkkeiden (kullanruskeasta mustaan oleva väri) katsottiin antavan positiivisen reaktion ja ne laskettiin suolistope-räisiksi enterokokeiksi. (SFS-EN ISO 7899-2).



KUVA 17. Enterokokkien määrittäminen, bakteeripesäkkeitä: vasemmalla slantz-bartley-agar, oikealla sappi-eskuliini-atsidi- agar.

6.6 Koliformiset bakteerit ja *Escherichia coli*

Koliformiset bakteerit ja *E.coli* -bakteeripitoisuudet näytteistä analysoitiin Colilert 24 – pikamenetelmällä. Colilert- pikamenetelmällä saadaan tutkittua vesinäytteen *Escherichia coli*- pitoisuudet 24 tunnissa. Colilert- testi käyttää hyväksi ravinne indikaattoreita, jotka muodostavat väriä, ja/tai fluoresenssin reagoidessaan coliformisten bakteeriden ja *E. colin* kanssa.

Colilert testiä varten näytteet otettiin steriloituihin pulloihin ja analyysit aloitettiin heti näytteenoton jälkeen samana päivänä. Colilert 24- reagenssi lisättiin 100 ml näytettä ja ravisteltiin kunnes reagenssi oli liuennut. Näytevesi kaadettiin Quanti-Tray liuskaan ja suljettiin Quanti-Tray Sealer- sulkijalaitteella (Kuva 18). Liuskoja inkuboitiin $35 \pm 0,5$ °C:ssa 24 tuntia. Inkuboituja liuskoja verrattiin vertailunäytteeseen (Kuva 18.) ja laskettiin tulokset. Vertailuliuskaa keltaisempi väri luetaan positiiviseksi tulokseksi, joka ilmaisee koliformisia bakteereita. Lisäksi liuskoja tarkasteltiin UV- valossa (6 W 365

nm) fluoresenssin havaitsemiseksi. Liuskassa näkyvä fluoresenssi ilmaisee näytteessä olevan *E. colin*. (Matinmäki ym.)



KUVA 18. *E. colin* määrittäminen: Quanti-Tray Sealer ja Colilert- liuskat.

6.7 Kokonaistyyppi

Kokonaistyyppi määritettiin kahdeksasta näytteestä standardin SFS 5505 mukaisesti. Menetelmässä tyypellä tarkoitetaan ammoniakin, ammoniumin, nitraatin ja nitriitin sekä orgaanisesti sitoutuneen typen summaa. Kustakin näytteestä tehtiin kaksi rinnakkaista analyysia. Aluksi nitraatti ja nitriitti pelkistettiin K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ ja TiO_2 sisältävällä seoksella, jonka jälkeen orgaaninen aine hajotettiin rikkihappopoltossa kuparikatalysaattorin läsnä ollessa. Märkäpoltto tapahtui vetokaapissa, typpinäytteiden ollessa polttolaitteessa usean tunnin ajan (Kuva 19). Valituista kahdeksasta näytteestä tehtiin kaksi rinnakkaista analyysia, näytemäärien ollessa 50 ml. Näytteiden lisäksi tehtiin kaksi tarkistusnäytettä glysiiniliuoksella ja kaksi nollanäytettä tislatusella vedellä.

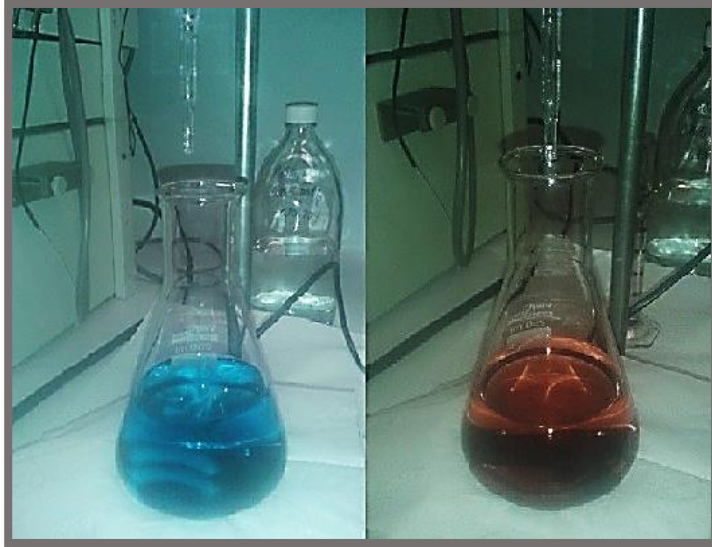


KUVA 19. Typen määrittys: Märkäpoltto vetokaapissa.



KUVA 20. Typen määrittys: Tislauslaitteisto.

Poltossa muodostuneesta ammoniumsulfaatista ammoniakki vapautettiin lisäämällä natriumhydroksidia ja ammoniakki tislattiin 0,25 ml indikaattoriseosta ja 20 ml boori-happoliuokseen sisältävään seokseen (Kuva 20). Lopuksi ammonium määritettiin tisleestä titraamalla se 0,05 mol/l rikkihapolla (Kuva 21). Titrauksen rikkihappokulutuksen avulla laskettiin näytteen typpipitoisuudet. Lopputulokset on esitetty tulokset -osiossa.



KUVA 21. Typen määrittäminen: Titraus.

6.8 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforin määrittäminen tehtiin standardin SFS 3026 mukaisesti peroksidisulfaatti-hapetukseen perustuvalla menetelmällä. Fosfori määritettiin samoista kahdeksasta näytteestä kuin typpi. Näytteistä ei tehty laimennoksia, sillä oletuksena oli, että fosforipitoisuudet eivät ole suuria. Näytteistä tehtiin kuitenkin kolme rinnakkaista analyysiä, tulosten varmentamiseksi. Analyysit tehtiin pakkasnäytteistä, joita ei ollut kestävä.

Tutkittavien näytteen lisäksi tehtiin standardisuora, eli 0,01 mg/l, 0,10 mg/l, 0,25 mg/l, 0,50 mg/l, 0,75 mg/l fosforia sisältävät liuokset. Standardinäytteitä varten tehtiin 1 mg/l fosforia sisältävä fosforin työliuos, jota pipetoitiin standardiliuoksia varten 1,0 ml, 10 ml, 25 ml, 50 ml ja 75 ml ja tehtiin laimennokset 100 ml:n mittapulloihin. Lisäksi tehtiin vielä 0,1 mg/l ja 0,50 mg/l fosforia sisältävät kahdet rinnakkaiset kontrollinäytteet fosfaatin tarkistusliuoksen 1 mg/l fosforia sisältävästä työliuoksesta sekä kaksi nollanäytettä tislattulla vedellä.

Kaikkia näytteitä ja standardinäytteitä sekä kontrollinäytteitä pipetoitiin 25 ml happopestyihin autoklaavipulloihin, joihin pipetoitiin vielä ennen autoklaviointia 5 ml kaliumperoksidisulfaattiliuosta. Autoklaviointi tehtiin seuraavana päivänä. Näytteitä autoklavioitiin 30 minuuttia 120°C:ssa, jonka jälkeen näytteiden absorbanssit mitattiin nollanäytettä vastaan aallonpituudella 880 nm.

Autoklavoinnin jälkeen pulloet jäähdytettiin huoneenlämpötilaan ja niihin lisättiin 1 ml askorbiinihappoliuosta. 30 sekunnin jälkeen happolisäyksestä pulloihin pipetoitiin 1 ml molybdaattireagenssia. 10 minuutin kuluttua viimeisestä reagenssilisäyksestä näytteistä mitattiin absorbanssit nollanäytettä vastaan aallonpituudella 880 nm. Mittalaitteella mitattiin ensin tehtyjen standardiliuosten absorbanssit, joiden perusteella laite muodosti kalibroitikäyrän. Kalibroitisuoran perusteella mittalaite laski näytteiden absorbansseista fosforipitoisuudet mg/l. Standardiliuosten absorbanssien perusteella tehtiin kalibroitikäyrä, absorbanssi fosforipitoisuuden funktiona, jonka avulla laskettiin näytteiden fosforipitoisuudet. Tulokset sekä standardiliuosten perusteella tehty kalibroitikäyrä on esitetty tulokset osiossa.



KUVA 22. Fosforin määrittäminen: absorbanssin mittaus.

7 TULOKSET

Seuraavaksi on esitetty kaikkien tehtyjen analyysien lopputulokset. Poikkeuksellisen korkeita tai matalia arvoja on merkitty taulukoihin punaisella. Tuloksista on myös tehty koontitaulukko joka on työn liitteenä (Liite 2.) Liitteessä 3 on myös tarkemmat tuloksien laskennassa käytetyt kaavat, rinnakkaistulokset ja tarkistukset. Näytetunnusten edessä A1, A2 ja A3 tarkoittavat eri ajankohtana otettujen näytteiden analyysisarjoja.

pH, sameus ja sähkönjohtavuus

TAULUKKO 1. pH- arvot, sameus ja sähkönjohtavuus

No. pvm.	Näyte	pH	Sameus [NTU]	S.j. [mS/m]
27.11.2014	A1-1	6,3	34,9	19,3
27.11.2014	A1-2	6,5	7,5	14,8
27.11.2014	A1-3	6,2	16,8	28,4
27.11.2014	A1-4	6,4	38,3	8,2
27.11.2014	A1-5	6,6	2,1	20,0
27.11.2014	A1-6	6,4	2,7	7,9
4.12.2014	A1-7	6,5	1,3	5,4
4.12.2014	A1-8	5,9	22,4	10,7
4.12.2014	A1-9	6,3	1,2	14,7
4.12.2014	A1-10	6,4	1,0	12,0
4.12.2014	A1-11	6,3	3,1	13,3
4.12.2014	A1-12	6,4	25,0	8,2
4.12.2014	A1-13	6,1	6,8	21,7
4.12.2014	A1-14	6,8	10,3	17,8
4.12.2014	A1-15	6,7	30,7	13,8
16.12.2014	A2-16	6,5	1,0	5,1
16.12.2014	A2-17	6,4	9,5	18,3
16.12.2014	A2-18	6,8	7,9	16,8
16.12.2014	A2-19	6,7	5,5	16,4
16.12.2014	A2-20	7,0	7,0	14,6
16.12.2014	A2-21	6,8	3,2	18,3
16.3.2015	A3-22	7,0	16,3	16,8
16.3.2015	A3-23	6,8	8,0	16,6
16.3.2015	A3-24	6,3	7,5	16,1
16.3.2015	A3-25	4,4	10,8	4,6
16.3.2015	A3-26	4,1	6,0	4,7
16.3.2015	A3-27	6,0	12,9	3,6
16.3.2015	A3-28	6,9	5,3	15,3
24.3.2015	A3- 29	6,2	80,3	5,9
24.3.2015	A3- 30	6,6	2,3	6,1
24.3.2015	A3- 31	6,0	5,1	4,0
24.3.2015	A3- 32	6,6	0,9	9,0
24.3.2015	A3- 33	6,9	10,2	10,9
24.3.2015	A3- 34	6,4	6,8	3,7
24.3.2015	A3- 35	6,8	5,1	6,0

Bakteerit**TAULUKKO 2. Bakteerit: Koliformiset, E.coli ja Enterokokit**

No. Pvm.	Näyte	Kolif. [Pmy/100 ml]	E-coli tod.	Enterot [Pmy/100 ml]
16.12.2014	A2-16	>200,5	-	2
16.12.2014	A2-17	>200,5	+	40
16.12.2014	A2-18	200,5	-	22
16.12.2014	A2-19	>200,5	+	6
16.12.2014	A2-20	>200,5	+	26
16.12.2014	A2-21	>200,5	-	9
16.3.2015	A3-22	>200,5	+	12
16.3.2015	A3-23	53,1	-	2
16.3.2015	A3-24	200,5	-	2
16.3.2015	A3-25	>200,5	-	2
16.3.2015	A3-26	200,5	-	ei
16.3.2015	A3-27	>200,5	+	1
16.3.2015	A3-28	200,5	-	2
24.3.2015	A3-29	>200,5	-	20
24.3.2015	A3-30	>200,5	+	2
24.3.2015	A3-31	>200,5	-	20
24.3.2015	A3-32	>200,5	+	400
24.3.2015	A3-33	>200,5	-	15
24.3.2015	A3-34	>200,5	-	5
24.3.2015	A3-35	>200,5	+	22

Kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori

Alla on esitetty vesinäytteiden typpi- ja fosforipitoisuudet (Taulukko 3.). Menetelmällä saatujen fosforin lopputulosten virhe on $\pm 0,01 \text{ mg/l}$ / $\pm 10 \text{ } \mu\text{g/l}$. Näytteen A3-22, yksi kolmesta rinnakkaisesta fosforituloksesta poikkesi huomattavasti muista, joten se jätettiin pois lopputuloksesta. Todennäköisesti kyse oli mittausvirheestä.

Typpinäytteiden titrauksessa nollanäytteen haponkulutus oli tavanomaista suurempi. Suoritus ja reagenssit myös tarkistettiin glysiiniliuoksen tarkastusliuoksella. Suoritusta voidaan pitää tyydyttävänä, kun saanto on suurempi kuin 95 % teoreettisesta arvosta. Tehtyjen tarkistusliuosten saanto oli kuitenkin vain n. 90 % teoreettisesta arvosta. Menetelmällä saatujen typpipitoisuuksien voidaan siis olettaa olevan hieman todellista pienempiä.

TAULUKKO 3. Kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori

Näyte	Tyyppi (µg/l)	Fosfori (µg/l)
A1-1	1190	67
A1-10	910	30
A2-20	630	53
A3-22	840	85
A3-25	1680	220
A3-30	280	23
A3-31	1400	317
A3-35	350	33

8 TULOSTEN TARKASTELU JA TULKINTA

8.1 Pitoisuudet

Happamuus

Vesien pH- arvot vaihtelivat välillä 4,1 - 7,0. PH- arvot olivat suurimmassa osassa mittauspisteissä melko samanlaisia, arvojen ollessa 6 ja 7 välillä. Alhaisimmat pH- arvot olivat kuitenkin 4,1 ja 4,4 ja ne mitattiin pisteistä 25 ja 26 eli tutkimusalueen pohjoisosasta. pH- lukemat välillä 6-7 ovat tyypillisiä arvoja Suomen vesistöissä lukuun ottamatta kahta alhaisinta arvoa. Happamoituminen alkaa tuntua eliöstössä jo pH:n laskeutumisessa tason 6,0 alapuolelle, pH:n ollessa alle 5 veden tila on jo erittäin huono. (Oravainen 1999.) Alhaisimmat pH:n arvot ovat hyvin matalia, mutta ne selittyvät luultavimmin mittauspisteiden yläpuolella olevalta suoperäiseltä alueelta valuvilla happamilla vesillä.

Sameus

Sameuden arvot vaihtelivat välillä 1,0 - 80,3 NTU. Alhaisimmat sameuden arvot jäivät lähelle 1 NTU ja mitattiin pisteiltä 7, 9, 10, 16 ja 32 eli lähinnä lentokentän länsi-kulmassa. Korkeimmat sameuden arvot mitattiin pisteiltä 1 eli lentokentän alapuolisesta pisteestä, 4 ja 15 eli alueen pohjoisosasta sekä pisteessä 29 lentokentän pohjoispuolella. Joki- ja ojavedet ovat yleensä selvästi järvidesiiä sameampia, koska eroosio on voimakkaampaa. Tavallisesti kevättulvien aikana rannikon joet ovat erittäin sameita ja sameus jopa yli 100 FTU. Lisäksi sameuden vaihtelu on jokivesissä voimakasta vuodenaikasta ja sadannasta riippuen. (Oravainen, 1999.) Saadut sameustulokset eivät suoranaisesti

indikoi saastumista, mutta tulosten keskinäinen vertailu voi osoittaa suuntaa antavaa tietoa vesien tilasta.

Sähkönjohtavuus

Huleveden sähkönjohtavuuden keskiarvot vaihtelivat välillä 3,6 – 28,4 mS/m. Sähkönjohtavuuden arvot vaihtelivat melko paljon näytepisteiden välillä, kuitenkin vain muutamassa pisteessä mitattu arvo oli tavanomaista korkeampi, yli 20 mS/m. Korkeimmat arvot havaittiin pisteillä 1, 3, 5 ja 13 eli lentokentän alapuolisessa pisteessä ja pohjoispuolella. Tavallisesti sisävesien sähkönjohtavuus on Suomessa erittäin pieni, 3,5 - 10 mS/m. Talvella sähkönjohtavuuden arvo kohoaa lievästi, mutta vuodenaikaisvaihtelu on kuitenkin vähäistä. Voimakkaasti viljellyillä alueilla sähkönjohtavuus on luokkaa 15- 20 mS/m ja jäteveden sähkönjohtavuus on luokkaa 50- 100 mS/m.

Sähkönjohtavuutta lisää orgaanisen aiheen hajoamisen yhteydessä vapautuvat suolat. Voimakas sähkönjohtavuusarvon muutos alusvedessä on yleensä merkki jätevesien kertymisestä vesistöön. Suolojen määrää lisäävät jätevedet ja peltolannoitus, joten sähkönjohtavuuden korkeimmat arvot siten voivatkin olla osoitus jätevesien kulkeutumisesta vesistössä tai läheisestä peltolannoituksesta. (Oravainen 1999.)

Bakteerit

Kaikissa analyysisarjan 2 ja 3 näytteissä havaittiin koliformisia bakteereja. Lähes kaikissa näytteissä pitoisuus oli 200,5 pmy/100 ml. Colilert 24-testin taulukosta luettuna 50 kuplan positiivinen tulos siis merkitsee tulosta 200,5 pmy/100ml ja tämä tulos selkeästi indikoi vesien likaantumista ja veden hygieenisen laadun huononemista. Koliformiset bakteerit voivat olla ulosteiden lisäksi peräisin myös maaperästä, kasveista tai jätevesistä.

Escherichia Coli- bakteerin esiintymistä vedessä pidetään parhaimpana ulosteperäisen saastumisen indikaattorina. E- coli todettiin kahdeksassa näytteessä ja pitoisuuksien perusteella voidaankin todeta vesistöissä olleen ulosteperäistä saastumista. Tavallisesti lämmin vesi tuo bakteereille paremmat elin- ja lisääntymisolosuhteet kuin kylmä vesi, joten koska näytteenottoajankohtina vesi oli melko kylmää, on todennäköistä, että veden lämmitessä keväällä myös bakteeripitoisuudet lisääntyvät entisestään.

Myös enterobakteereita havaittiin kaikissa näytteissä lukuun ottamatta näytestä 26. Havaitut pitoisuudet olivat kuitenkin selkeästi korkeampia muutamassa pisteessä. Kohonneet enterokokkipitoisuudet vahvistavat veden saastumista. Näytestä 17, 20, 22, 29, 32 ja 35 havaittiin sekä *E. coli* että korkeimmat koliformisten bakteerien ja enterokokkibakteerien pitoisuudet. Tulokset siis osoittavat ulosteperäistä saastumista tutkimusalueen pohjois-osassa sekä lentokentän eteläpuoliselta peltoalueelta laskevista, lentokentän läpi kulkevista vesistä. Lisäksi saastumista voidaan todeta lentokentän itäpuolelta, pisteestä, jonne koko valuma-alueen vedet lopulta laskevat.

Typpi

Kokonaistypen keskiarvot vaihtelivat välillä 280- 1680 µg/l. Suurin pitoisuus 1680 µg/l mitattiin pisteestä 25 eli tutkimusalueen pohjois-osasta. Pienin pitoisuus 280 µg/l mitattiin pisteestä 30 eli lentokentän pohjois- luode suunnalta. Normaalisti Suomessa kokonaistyyppipitoisuus on humusvesissä välillä 400- 600 µg/l ja yli 1000 µg/l pitoisuus on tavallisesti osoitus typpikuormitustason noususta. Hyvin ruskeissa vesissä tyyppiä voi tosin olla luonnostaankin yli 1000 µg/l (Oravainen, 1999.) Suomessa maatalous on suurin vesistöitä kuormittavan typen lähde, mutta myös runsas haja-asutus ja metsien lannoitus lisäävät typpikuormaa. (SYKE 2014.) Runsaasti viljellyillä alueilla joki- ja oja-vesien typpipitoisuudet voivat olla välillä 2000- 4000 µg/l. Tähän verrattuna mitatut typpipitoisuuden arvot eivät olleet erityisen korkeita.

Suomessa ei ole annettu hulevesien ravinnepitoisuuksille erityisiä raja-arvoja, mutta esimerkiksi Tukholman lääni on määrittänyt raja-arvoja hulevesien pitoisuuksille. Näihin raja-arvoihin verrattuna mitattujen hulevesien kokonaistypen pitoisuudet eivät ylittäneet raja-arvoja. Tukholman pienvesien typen raja-arvoksi on määritelty 2000 µg/l. (Airola ym. 2014.) Näytestä 1, 25 ja 31 havaittavissa oli kuitenkin typpikuormitustason nousua eli yli 1000 µgN/l (Oravainen 1999).

Fosfori

Mitatut kokonaisfosforin keskiarvot vaihtelivat välillä 23- 317 µg/l. Suurin pitoisuus 317 µg/l mitattiin pisteestä 31, korkeampi pitoisuus oli myös pisteellä 25 eli tutkimusalueen pohjoisosassa. Pienin pitoisuus 23 µg/l mitattiin pisteestä 30 eli lentokentän pohjois- luode suunnalta. Suomessa hulevesille ei ole asetettu kokonaisfosforin raja-arvoja.

Päälysviesien ja järvien yleiset rehevyysluokitukset kokonaisfosforipitoisuuden perusteella on kuitenkin esitetty alla olevassa taulukossa. Rehevyysluokituksen perusteella pisteet, joissa havaittiin korkeimmat pitoisuudet, olivat ylireheviä. (Oravainen 1999.)

	rehevyysluokitus	yleisluokitus (vesihallitus)
karu	<10 µgP/l	<12 µgP/l
lievästi rehevä	10-20 -"-	12-30 -"-
rehevä	20-50 -"-	30-50 -"-
erittäin rehevä	50-100 -"-	50-100 -"-
ylirehevä	>100 -"-	>100 -"-

Tukholmassa hulevesien fosforin raja-arvoksi pienvesille on asetettu 160 µg/l (Airola ym. 2014). Verrattaessa saatuja arvoja Tukholman raja-arvoon suurimmat pitoisuudet (25 ja 31) ylittivät raja-arvon.

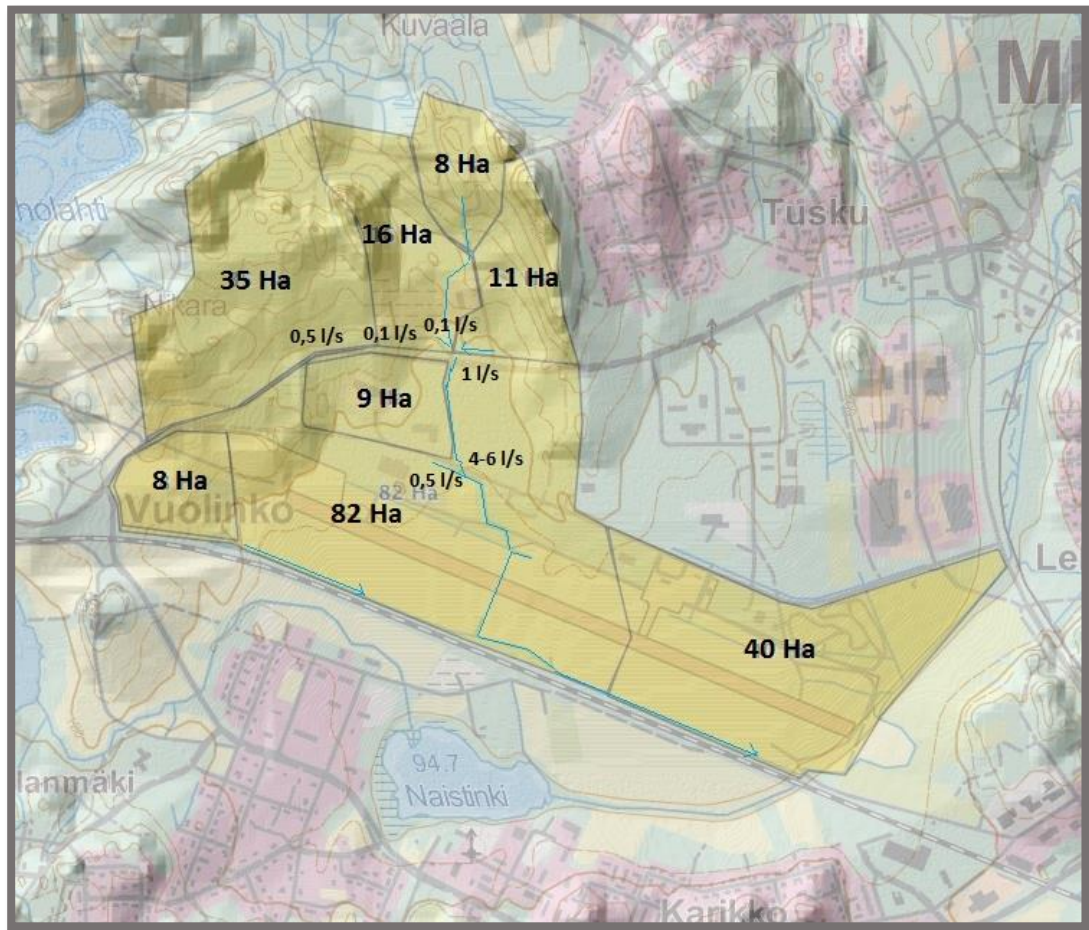
8.2 Pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät

Hulevesien pitoisuuksiin vaikuttaa useita eri tekijöitä. Ensinnäkin sade sekä lumen sulaminen ovat oleellisia. Hulevesien laatu muuttuu sateen aikana ja sen jälkeen. First flush –ilmiön mukaan hulevesien laatu on huonointa sateen alussa ja parantuu sateen kuluessa. Syksyllä tehtyjen näytteenottojen aikaan oli sateisempaa, kuin keväällä. Keväällä taas ennen näytteiden hakua lumen sulaminen oli ollut voimakasta. Lumeen on sitoutunut epäpuhtauksia, jotka tulevat sekä ilmasta että maasta, joten lumen sulamisvedet ovat siis oleellisesti vaikuttaneet näytteiden saastepitoisuuksiin analyysisarjan 3 mittaushetkellä.

Alueella ei ole erityisen vilkas liikenne, mutta alueella on jonkin verran rekkaliikennettä. Haitallisia aineita on varsinaisen teollisuuden toiminnan lisäksi peräisin etenkin liikenteestä, teiden hiekotuksesta ja myös mahdollisesti suolauksesta. Alueella tiet ovat pääosin päällystämättömiä hiekkateitä. Rakennetuissa ympäristöissä liikenteen lisäksi haitta-aineita päätyy hulevesiin rakennusmateriaaleista, rakennustyömailta ja kaduilta. Lisäksi pitoisuuksiin vaikuttavat päästöt. Energiantuotannossa, lämmityksessä, liikenteessä, teollisuudessa ja jätteiden poltossa syntyvät päästöt tulevat hulevesiin erityisesti

ilman kautta laskeumana tai kaukokulkeutumisena sekä paikallisista lähteistä. Erimeriksi Tukholmassa tehdyssä selvityksessä havaittiin, että typestä 80 % tuli hulevesiin laskeumasta. (Airola ym. 2014.)

Maaperä ja sen lannoittaminen sekä kemikaalien käyttö kuormittavat hulevettä etenkin lisääntyneenä ravinne- ja kiintoainekuormituksena. Myös viljelystä sekä puistojen, pihojen ja viheralueiden lannoittamisesta ja golfkentiltä tulee ravinnekuormitusta hulevesiin. Tutkimusalueen etelä-puolisen peltoalueen havaittiinkin kuormittavan vesistöä. Satunnaisesti haitta-aineita hulevesiin voi tulla myös onnettomuuksista ja putkirikoista. Esimerkiksi jätevesiviemärien ristiinkytkenät ja rikkoutumiset sekä sekaviemäreiden ylivuodot voivat aiheuttaa paikallisia typpi- ja fosforipäästöjä sekä huleveden hygieenisen laadun heikkenemistä. Paikallisesti hulevesien laatua voivat heikentää myös roskaaminen ja eläinten jätökset. (Airola ym. 2014.)

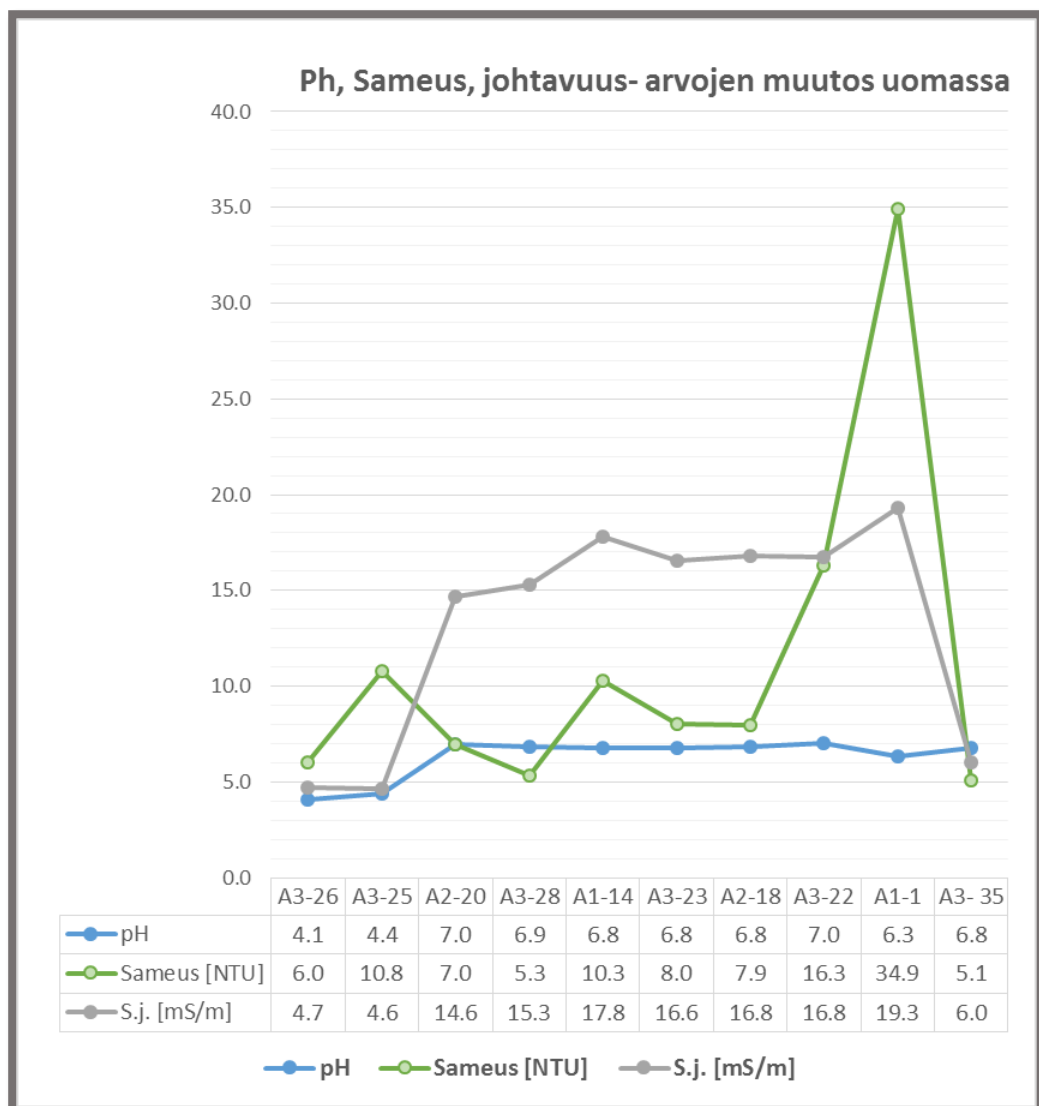


KUVA 23. Pinta-alat ja virtaamat

Lisäksi pitoisuuksien vertailussa tulee huomioida valuma-alueiden pinta-alojen ja vesien virtaamien vaihtelujen aiheuttamat erot. Kuvassa 23 on esitetty eri alojen pinta-aloja. Lisäksi kuvaan on merkattu näytteenottouomista silmämääräisesti arvioituja virtaamia (Tanskanen 2015). Kuormitukseen siis vaikuttaa se kuinka suurelta valuma-alueelta ja kuinka suurella virtaamalla huonolaatuinen vesi valuu. Esimerkiksi pohjoisosassa, jossa korkeita pitoisuuksia havaittiin, valuma-alueet eivät ole kovin laajoja ja virtaamat ovat melko pieniä.

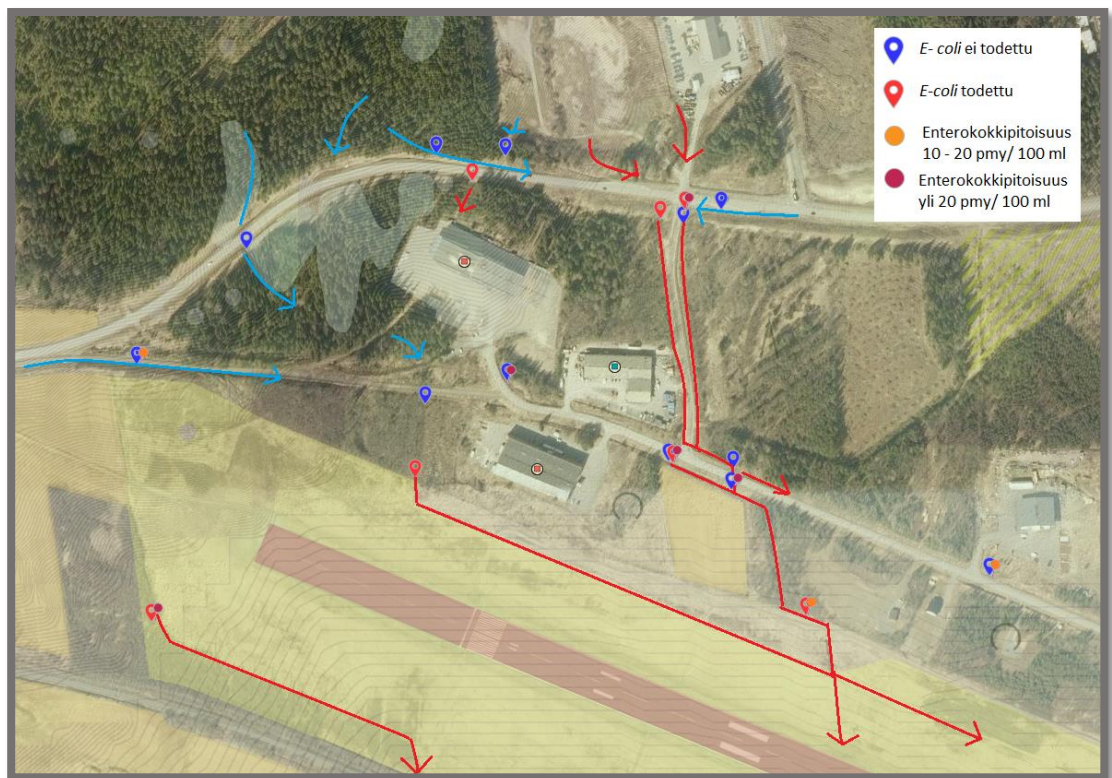
8.3 Tulosten vertailua

Seuraavaksi on esitelty tulosten vertailukaavioita ja saatujen tulosten perusteella tehtyjä havainnollistavia karttakuvia.



KUVA 24. pH:n, sameuden ja sähkönjohtavuuden arvojen muutos uomassa.

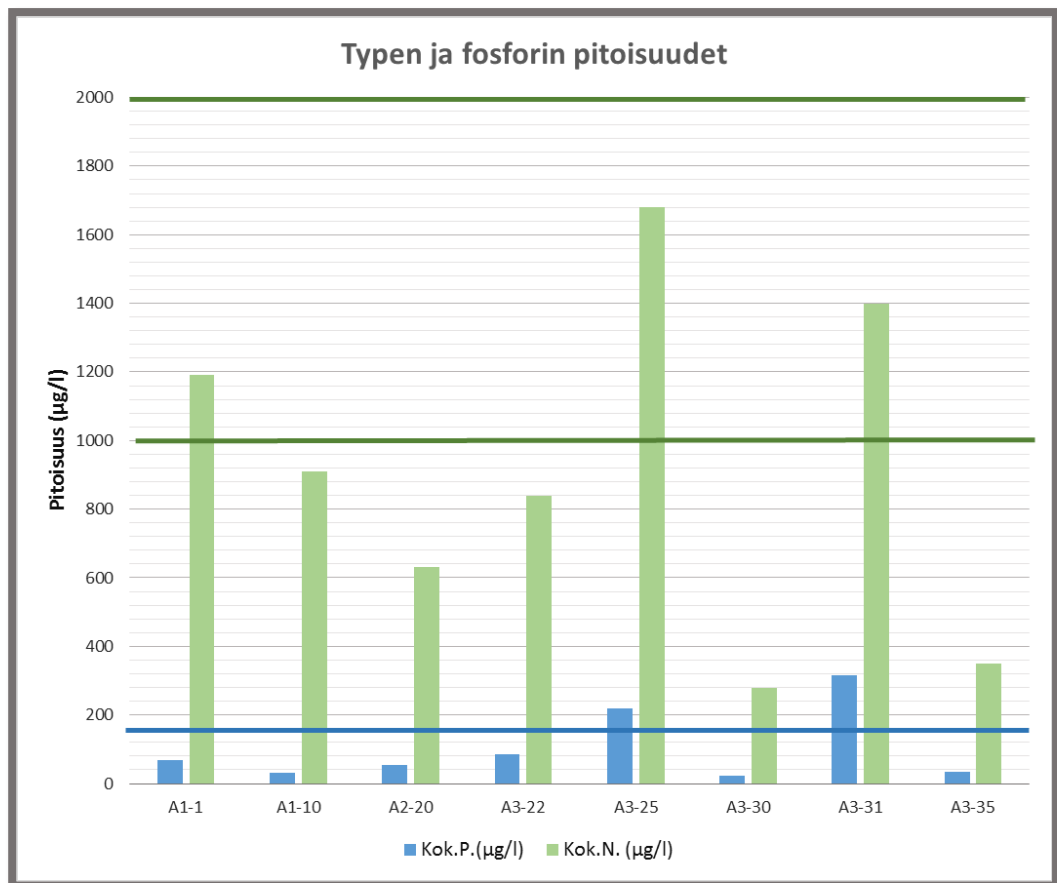
Verrattaessa saatuja pH:n, sameuden ja sähkönjohtavuuden arvoja, erityisen suuria eroja ei koko alueen mittatuloksista ole havaittavissa. Kuitenkin yllä olevassa kaaviossa voi huomata pH- arvon neutraloitumisen ja samalla sameuden sekä sähkönjohtavuuden arvon nousun vesiuomissa. Kaavion mittapisteen muodostavat linjan tutkimusalueen pohjoisosasta, laskien uomia pitkin teollisuusalueen ja lentokentän läpi, kentän alapuoliseen pisteeseen. Viimeisessä pisteessä 35 eli alueen itä-puolella, jonne valuma-alueen vedet lopulta päätyvät, sekä sameuden, että sähkönjohtavuuden arvot olivat selkeästi matalammat. Tästä voitaisiin päätellä, että vaikka tutkimusalueella sameuden ja sähkönjohtavuuden arvot pienemmissä avo-uomissa ovat paikoin kohonneita ja kuormitus kasvaa hajakuormituksen seurauksena teollisuusalueella, mutta lopulta isompiin uomiin ja Siekkilänjokeen laskevan veden laatu on kuitenkin parempi. Jokeen laskevaan saastuneen huleveden vaikutus ei ehkä ole huomattavan suuri, suuremman vesimäärän ja virtaaman sekä imeytymisen ansiosta. Kuitenkin on selvää, että teollisuusalueen toiminta vaikuttaa veden laatuun heikentävästi.



KUVA 25. Bakteeripitoisuuksia ja virtaussuuntia.

Mitattujen bakteeripitoisuuksien perusteella voidaan myös tehdä osittain samoja havaintoja saastuneen veden kulkeutumisesta, kuin sameuden ja sähkönjohtavuuden arvojen perusteella. Kuvassa 25 on havainnollistettu bakteerikuormitusta vesistössä. Mitatuista pisteistä punaisilla merkeillä on merkattu pisteitä, joissa havaittiin *E. coli*, sinisillä niitä, joissa *E. colia* ei havaittu. Lisäksi pienemmät punaiset pisteet kertovat korkeasta Enterokokkipitoisuudesta. Sinisillä nuolilla on merkattu suuntia, joista tutkimusten perusteella ei ollut havaittavissa bakteerisaastumista. Punaiset nuolet taas kertovat suunnista, joilta saastunut vesi kulkeutuu eteenpäin.

Alla on esitetty mitatut fosfori- ja typpipitoisuudet kaaviona mittauspisteiden mukaan (Kuva 26). Pisteiden 1, 25 ja 31 fosforipitoisuudet ylittivät 1000 µg/l eli yleistä kuormitustason nousua kuvaavan rajan. Tukholman läänin määrittelemää 2000 µg/l raja-arvo ei kuitenkaan ylittynyt. Pisteillä 25 ja 31 ylittyi Tukholman läänin määrittämä 160 µg/l kokonaisfosforin raja-arvo. Typen ja fosforin pitoisuuksien perusteella korkein ravinnekuormitus tulee samoilta suunnilta kuin bakteerisaastuminenkin, eli tässä pisteiltä 25 alueen pohjoisosasta sekä pisteestä 31 eli länsipuolella olevalta peltoalueelta.



KUVA 26. Typen ja fosforin pitoisuudet ja raja-arvot.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Mikkelin Tuskun teollisuusalueen vesistökuormitusvaikutuksia hulevesitutkimuksen avulla. Aiemmissa opinnäytetöissä ja tutkimuksissa on selvitetty huleveden yleistä laatua Mikkelin alueella. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkentaa tietoja kohdennetun jatkotutkimuksen avulla alueelta, jolla mahdollisesti olisi tarvetta puhdistaa tai käsitellä hulevesiä. Tämä tehtiin selvittämällä Tuskun teollisuusalueen hulevesien laatua ja pintavalunnan vaikutuksia paikalliseen vesistöön avouomanäytteenotoin ja laboratoriomittauksin. Tutkimuksen tavoite saavutettiin, ja tutkimus tuotti tietoa Mikkelin kaupunkialueen ja Tuskun teollisuusalueen hulevesien kuormitusvaikutuksista. Tutkimuksella oli myös Mikkelin kaupunkialueen vesien laadun seurannan ja parantamisen kannalta merkitystä, sillä vaikka kansallisella tasolla hulevedet eivät lukeudukaan suurimpiin vesistökuormittajiin, paikallisesti niiden vaikutus voi olla hyvinkin merkittävä.

Tutkimuksen tuottamien tulosten perusteella voidaan päätellä, että Tuskun teollisuusalueen aiheuttama hajakuormitus huonontaa ympäristön veden laatua. Havaittiin, että teollisuusalueen yläpuolisilta valuma-alueilta tulevien vesien haitta-ainepitoisuudet ovat pienempiä kuin teollisuusalueen alapuolella vesissä. Etenkin Tuskun teollisuusalueen pohjoispuolella sijaitsevalta alueelta sekä lentokentän eteläpuolella sijaitsevalta peltoalueelta laskevissa hulevesissä havaittiin saastumista ja kuormitustason nousua sekä veden laadun heikkenemistä. Tarkemman arvion tekeminen ja kuormituksen ja valuntatapahtuman aikana valuma-alueelta huuhtoutuneen aineen kokonaismäärän eli huuhtouman arviointi edellyttäisi kuitenkin ainepitoisuuksien lisäksi tietoa myös tarkempaa tietoa tarkkailujaksolla muodostuneesta valunnasta.

Nykyisen maankäyttö- ja rakennuslain edellyttäessä kunnalta hulevesien valvontaa, tullaan tulevaisuudessa tarvitsemaan paikallisia hulevesien kuormitus selvityksiä. Haitta-aineita hulevesiin tulee laajalti eri toiminnoista ja mikäli päästölähteisiin halutaan vaikuttaa ja vesien laatua parantaa, tulee kohdennettuja jatkotutkimuksia tehdä lisää. Myös tämän työn tutkimusta tulisi vielä tulevaisuudessa jatkaa selvittäen mitkä tekijät vaikuttavat alueen pohjoisosassa havaittuihin kohonneisiin pitoisuuksiin. Alueella tulisi tehdä

lisää analyysijä kuormituslähteen paikantamiseksi. Näytepisteelle, jossa kohonneita pitoisuuksia havaittiin, valuu vesiä Lassila & Tikanojan toimialueelta, sen vieressä olevalta vanhalta varastoalueelta sekä hieman kauempana olevalta metsäalueelta. Jatkotutkimuksella olisi hyvä tarkentaa kuinka suuren osan kuormituksesta nämä eri alueet aiheuttavat ja mistä kuormitus varsinaisesti aiheutuu.

Koska nykypäivänä resurssit tehdä laajoja tutkimuksia saattavat olla heikot, on ideaalista suorittaa selvityksiä pienemmissä osissa samalla tehden yhteistyötä eri tahojen kanssa. Resurssien ja rahoituksen lisäksi tällä hetkellä haasteena hulevesien tarkkailussa ja seurannassa on myös suomalaisten laatukriteerien ja raja-arvojen puutteellisuus. Valtioneuvoston asetukset VNA 1022/2006 ja VNA 868/ 2010 vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista sisältävät joitakin vesistövesille tarkoitettuja ympäristölaatumormeja, jotka soveltuvat myös hulevesien laadun tarkasteluun. Ne eivät kuitenkaan pidä sisällään yleisiä veden laadun parametrejä, joita tässä tutkimuksessa tutkittiin.

9.2 Hulevesien laadun parantaminen

Hulevesien laatua voidaan parantaa erilaisilla menetelmillä kuten. viivyttämällä, käsittelyllä tai muilla kunnossapitotoimenpiteillä, joilla voidaan parantaa hulevettä vastaanottavan vesistön tilaa vähentämällä huleveden määrää, tasaamalla virtaamavaihteluita ja parantamalla veden laatua. Tällä hetkellä tutkimusalueella on hulevesiviemärointejä, mutta viemärointi ei kuitenkaan mahdollista hulevesien imeytymistä ja vedet johtuvat liian nopeasti ja käsittelemättöminä purkuvesiin heikentäen vesien tilaa sekä aiheuttaen virtaamavaihteluita ja eroosiota. Tuskun teollisuusalueella tulisikin miettiä miten hulevesien laatua voitaisiin parantaa. Etenkin teollisuusalueen pohjoisosan hulevesiin tulisi jatkossa kiinnittää kohdennettua huomiota. Pohjois-osasta valuvissa vesissä oli muihin mittauspisteisiin verrattuna havaittavissa sekä typen, fosforin että bakteeripitoisuuksien kohonaisuutta. Toinen tutkimuksen perusteella selvinnyt vesien laatuun vaikuttava tekijä on lentokentän länsipuolella sijaitseva peltoalue. Alueelta havaittiin tulevan vesistöön kohonneita ravinne- ja bakteeripitoisuuksia. Pitoisuudet olivat tyypillisiä viljelyalueelle.

Vesien laadun parantamiseksi alueella tulisi miettiä keinoja viivyttää tai käsitellä alueelta vesistöön valuvia vesiä. Luonnonmukaisia käsittelymenetelmiä ovat muun muassa

läpäisevät pinnoitteet, avo-ojat, kasvillisuuspainanteet, viivytyks- ja imeytysaltaat sekä kosteikot. Jo päällystetyillä pinnoilla muodostunut hulevesi voitaisiin esimerkiksi imeyttää maaperään, jolloin vesistöihin kohdistuva hulevesikuormitus pienenesi. Jatko selvityksenä tehdyille tutkimukselle, alueelta tulisi löytää paikka, jossa hulevesien käsittelyä tai viivytyksistä voitaisiin tehdä. Hulevesien viivytyksratkaisuna voisi toimia painanne, joka sijoitettaisiin nykyisten uomien yhteyteen sellaiseen paikkaan, jossa sen rakentaminen olisi maaperän ja ympäristön kannalta mahdollista. Viivytykseen tarkoitettut altaat ja ojat toimisivat myös hulevesien sisältämän kiintoaineen laskeutus- ja varastoaltaina, jolloin myös osa kiintoaineen mukana kulkeutuvista haitta-aineista olisi mahdollista poistaa. Viivytyksratkaisu tulisi suunnitella siten, että kustannukset ja rakentamisen tarve voitaisiin minimoida ja rakentamisessa huomioitaisiin alueen muu toiminta.

Myös Euroopan Unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) edellyttää kaikkien jäsenmaiden sisävesien hyvän ekologisen ja kemiallisen tilan säilyttämistä tai saavuttamista. Suomen vesienhoitoalueille on laadittu vesienhoitosuunnitelmat vuonna 2009, joissa on kuvattu pinta- ja pohjavesien nykytila, vesien tilaan vaikuttavat tekijät sekä ne toimenpiteet, joilla vesien hyvä tila on tarkoitus saavuttaa tai ylläpitää. Vähintään hyvän vesistön tilan saavuttamiseksi tai nykyisen tilan säilyttämiseksi tarvitaan kuitenkin myös jatkuvia kunnossapito ja kehitystoimenpiteitä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin tuottaa tietoa veden laadun parantamista varten ja päästä askel lähemmäksi hyvää vesistöjen tilan saavuttamista.

LÄHTEET

Airola, Johanna ym. 2014. Huleveden laatu Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2014. PDF- dokumentti. <http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-14.pdf>. Julkaistu 12/2014. Luettu 12.4.2015.

DHI 2014. Mike SHE, Basic Exercises. Mike by DHI. Ohjelmiston käyttöohje. Julkaistu 2014.

Etelä- Savon maakuntaliitto 2010. Etelä- Savon maakuntakaava. WWW- dokumentti. http://www.esavo.fi/etela-savon_maakuntakaava. Vahvistettu 4.10.2010. Luettu 1.11.2014.

Etelä- Savon maakuntaliitto 2014. Arvokkaat kulttuuriympäristön tai – maiseman kohteet ja alueet. PDF-dokumentti. <http://www.esavo.fi/resources/public/media/Mikkeli-Kulttuuriymp.pdf>. Ei päivytystietoja. Luettu 2.11.2014.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi yhteisön vesipolitiikan puitteista 2000/60/EY. Annettu 23.10.2000. Voimaan 22.12.2000.

Hedman, Klaus, Heikkinen, Terho, Huovinen, Pentti, Järvinen, Asko, Meri, Seppo & Vaara, Matti 2010. Mikrobiologia. Mikrobiologia, immunologia ja infektiosairaudet. Kustannus Oy Duodecim: Helsinki.

KVVY ry 2015. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojelu ry. Veden laadun arvostelupeusteet. WWW-dokumentti. <http://www.kvvy.fi/vedenlaatu/index.php?sivu=arvostelupeusteet&kunta=Ta>. Ei päivytystietoa. Luettu 18.3.2015.

Lampinen, Kaisa 2013. 7-nimisen joen taajamavaluma-alueet ja niiden aiheuttama kuormitus. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. WWW- dokumentti. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63702/7-nimisen%20joen%20taajamavaluma-alueet%20ja%20niiden%20aiheuttama%20kuormitus.pdf?sequence=1> Julkaistu 15.8.2013. Luettu 30.10.2014.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132. WWW- dokumentti. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L1P5a>. Annettu: 5.2.1999

Maanmittauslaitos 2014. Paikkatietoikkuna. WWW- dokumentti. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. Ei päivytystietoja. Luettu 3.11.2014.

Matinmäki, Leea & Savolainen, Aino. Colilert 24 käyttöohje. Berner Oy.

Mikkelin kaupungin tekninen virasto 1990a. Kaavoitusosasto 7.8.1990. Mikkeli, yleiskaava, selostus: 1990-2010. WWW- dokumentti. http://www.mikkeli.fi/sites/mikkeli.fi/files/atoms/files/001_keskusta_y790_selostus.pdf. Ei päivytystietoja. Luettu 30.10.2014.

Mikkelin kaupungin tekninen virasto 1990b. Kaavoitusosasto 7.8.1990. Mikkeli, yleiskaava. PDF- dokumentti. http://www.mikkeli.fi/sites/mikkeli.fi/files/atoms/files/001_keskustay790.pdf Julkaistu 7.8.1990. Luettu 30.10.2014.

Mikkelin kaupunki 2014. Asemakaavoitus. WWW- dokumentti
<http://www.mikkeli.fi/palvelut/asemakaavoitus#sthash.xndYY5ck.dpuf>
Ei päivytystietoja. Luettu: 1.11.2014.

Niemelä, Sami 2014. Hanhikankaan vedenpumppaamon hankintaveden laatututkimus: Siekkilänjoki- Hanhilampi välinen alue. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. WWW- dokumentti. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/79768/Niemela_Sami.pdf?sequence=1 Julkaistu: 28.4.2014. Luettu: 30.10.2014.

Niinimäki ym. 2014. Vesienhoidon ekologiaa: Ravintoverkkokunnostus. Books on Demand GmbH, Helsinki.

Oravainen, Reijo 1999. Opasvihkonen: vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. PDF-dokumentti. <http://www.kvvy.fi/opasvihkonen.pdf>. Julkaistu 11.11.1999. Luettu 18.3.2015.

Ropponen, Janne 2015. Suomen ympäristökeskus SYKE. Haitallisten aineiden kulkeutumisen mallintaminen. Ympäristö ja Terveys – lehti 3/2015.

Salaojayhdistys 2013. Hydrologian perusteet ja maan vesitalous. PDF- dokumentti. http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/kalvot/hydrologian_perusteet_ja_maan_vesitalous_2013.pdf. Julkaistu 2013. Luettu 15.4.2015.

Sillanpää, Nora 2007. Kuntaliitto. Huleveden määrä ja laatu Suomessa. WWW- dokumentti. http://www.vvy.fi/files/96/nora_sillanpaa.pdf. Päivitetty 4.9.2007. Luettu 12.4.2015.

Suomen Kuntaliitto 2012. Hulevesiopas. PDF- dokumentti. http://ktshop.kunnat.net/product_details.php?p=2714. Julkaistu 2012. Luettu 26.11.2014.

SYKE 2014. Suomen ympäristökeskus. Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. WWW- dokumentti. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma. Päivitetty 22.8.2014. Luettu 3.4.2015.

SYKE 2015a. Suomen ympäristökeskus. Teollisuuden vesistökuormitus. WWW- dokumentti. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma/Teollisuuden_vesistokuormitus. Päivitetty 25.3.2015. Luettu 3.4.2015.

SYKE 2015b. Suomen ympäristökeskus. Ravinnekuormitus. WWW- dokumentti http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesitilanne_ja_ennusteet/Ravinnekuormitus. Päivitetty 4.2.2015. Luettu 15.3.2015.

Tanskanen, Heikki 2014. Ympäristösuunnittelija. Mikkelin seudun ympäristöpalvelut. Sähköpostikeskustelu.

Tanskanen, Heikki 2015. Uomien virtaama-arviot, 11.5.2015. Ympäristösuunnittelija. Mikkelin seudun ympäristöpalvelut.

Vakkilainen, Pertti, Kotola, Jyrki, Nurminen, Jyrki 2005. SY776 Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Suomen ympäristö 776. WWW- dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40647/SY_776.pdf?sequence=1. Julkaistu 2005. Luettu 20.3.2015.

Valtion ympäristöhallinto 2014. OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. WWW- palvelu. <https://wwwp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.12.2014.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. VNA 1022/2006. Annettu 23.11.2006.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. VNA 868/ 2010 Annettu 7.10.2010.

Watman, 2010. Vesitutkimustulosten tulkinta: Miten tulkita yleisimpien vesitutkimusten tuloksia. PDF- dokumentti. <http://www.watman.fi/pdf/vedenlaatu.pdf>. Päivitetty 2010. Luettu 28.11.2014.

Standardit:

SFS 3021. Veden laatu. Veden pH-arvon määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 12.2.1979.

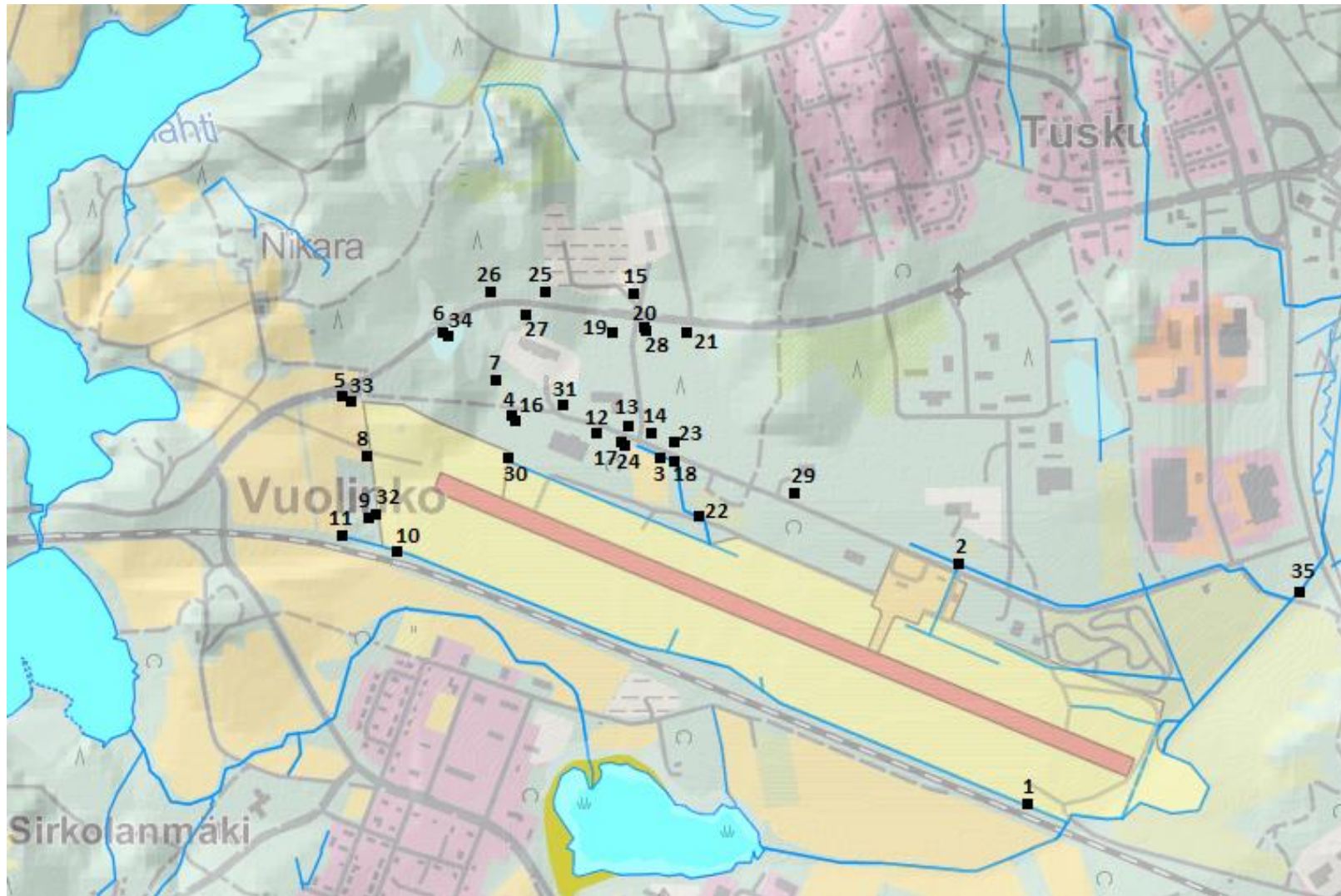
SFS-EN ISO 7027. Veden laatu. Sameuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 30.6.2000.

SFS-EN 27888. Veden laatu. Sähkönjohtavuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 9.5.1994.

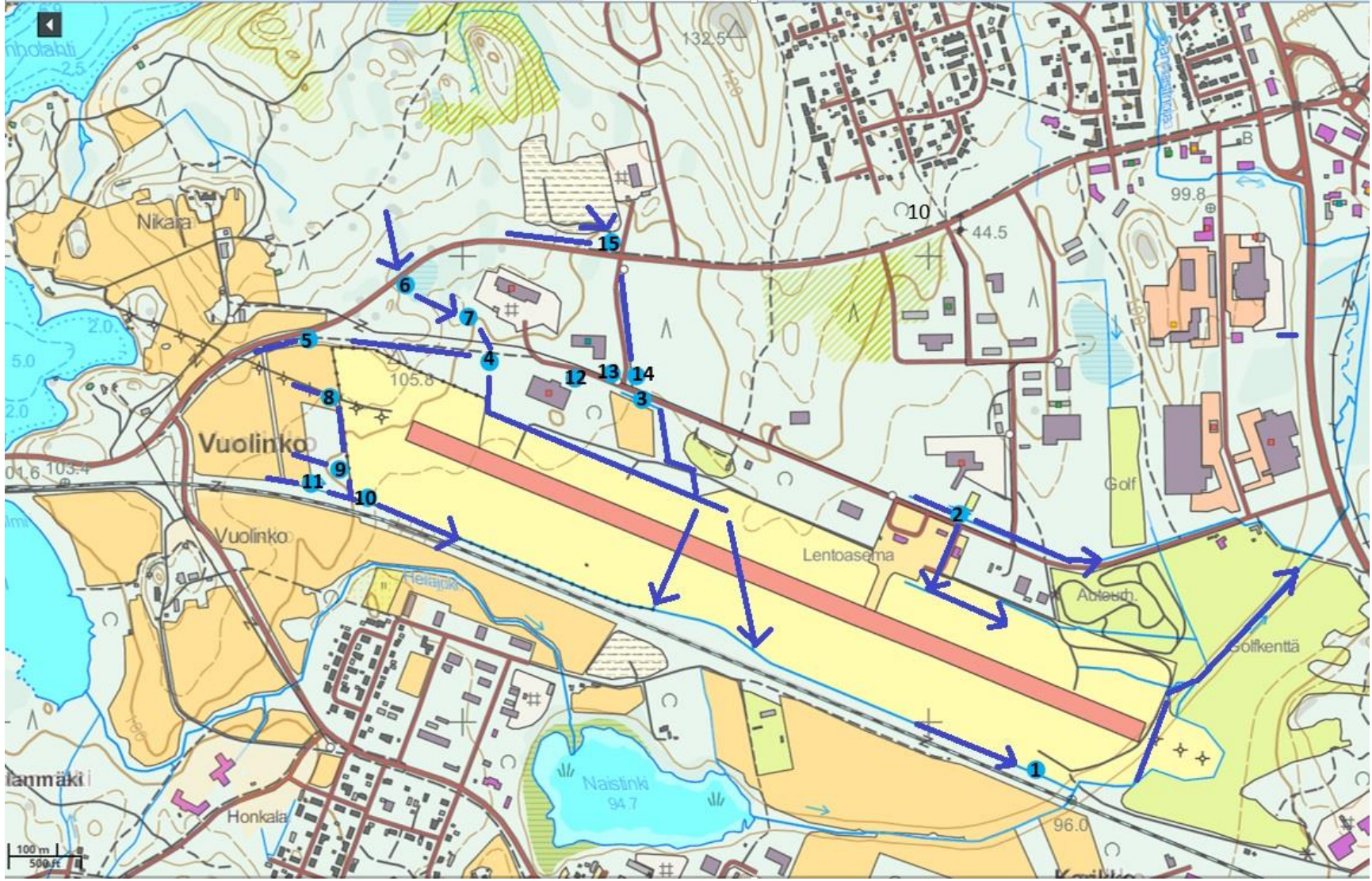
SFS- EN ISO 7899-2. Veden laatu. Suolistoperäisten enterokokkien havaitseminen ja laskeminen. Osa 2: kalvosuodatusmenetelmä. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 11.6.2000.

SFS-EN ISO 11905-1. Veden laatu. Typen määrittäminen. Osa: 1 Peroksidisulfaattihapetus. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 30.11.1998.

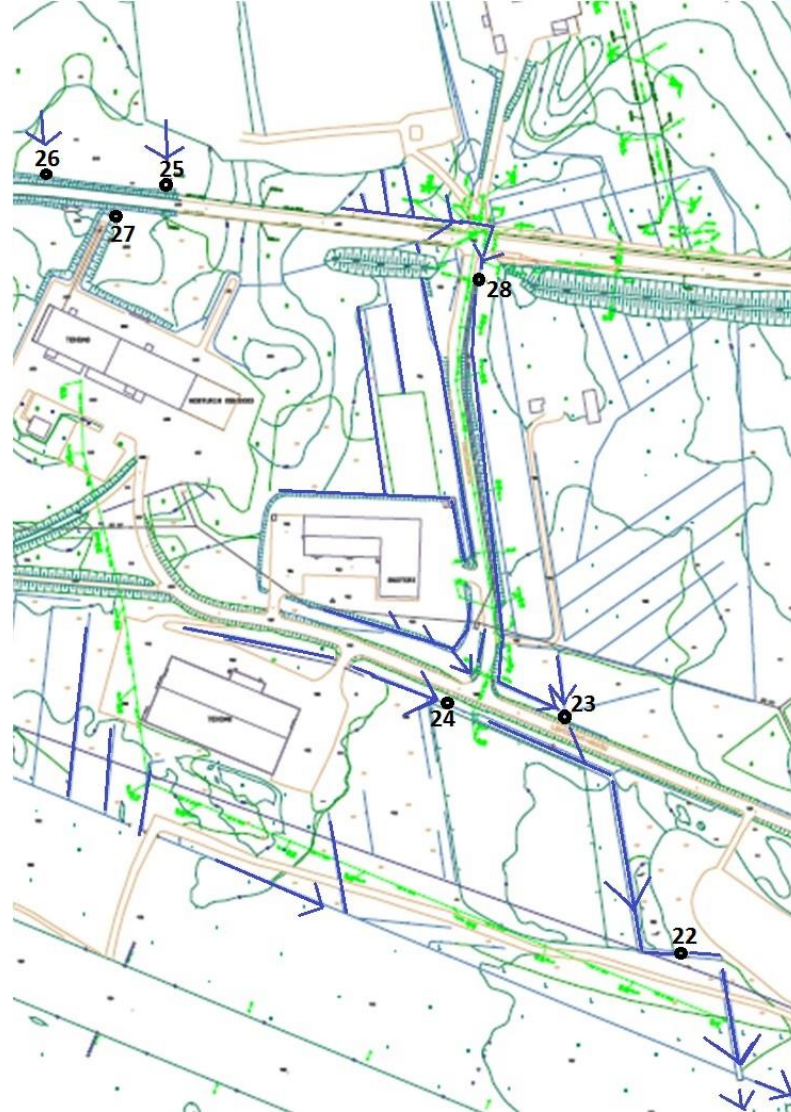
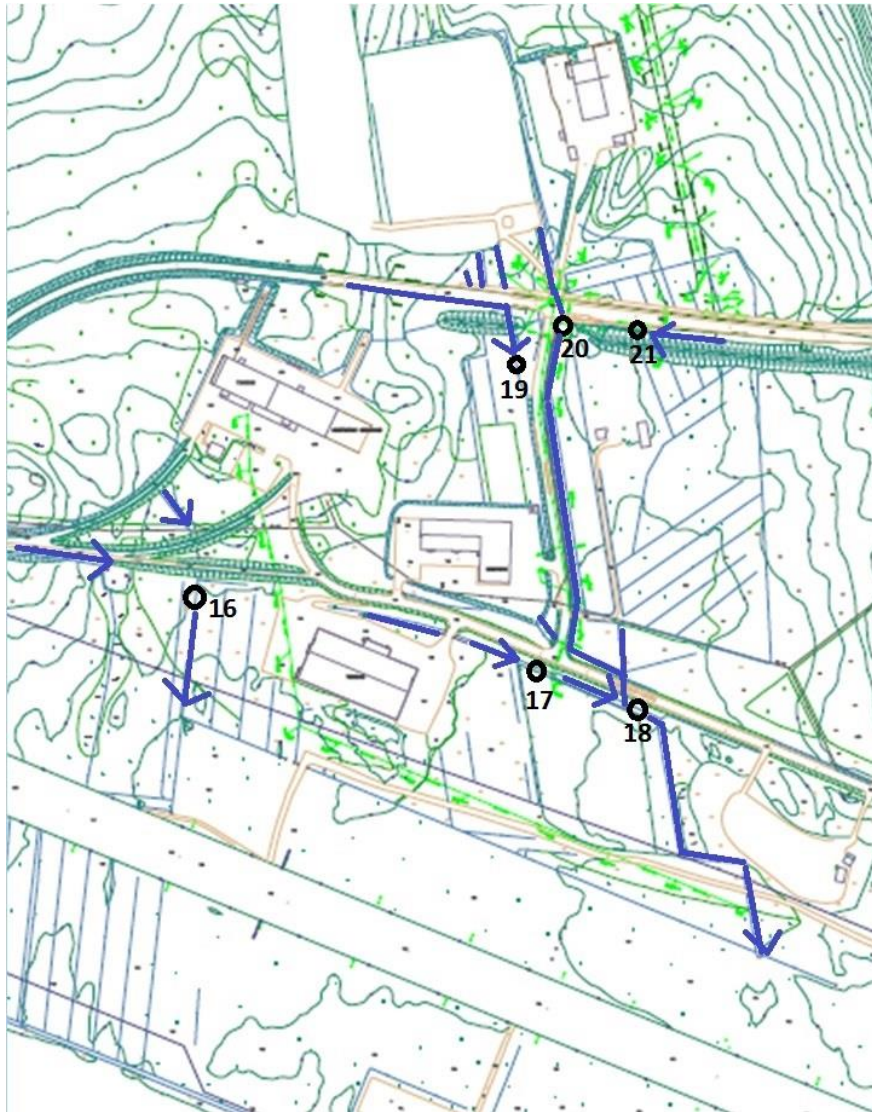
SFS-EN ISO 10695:en. Veden laatu. Kokonaisfosfori. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 23.10.2000.



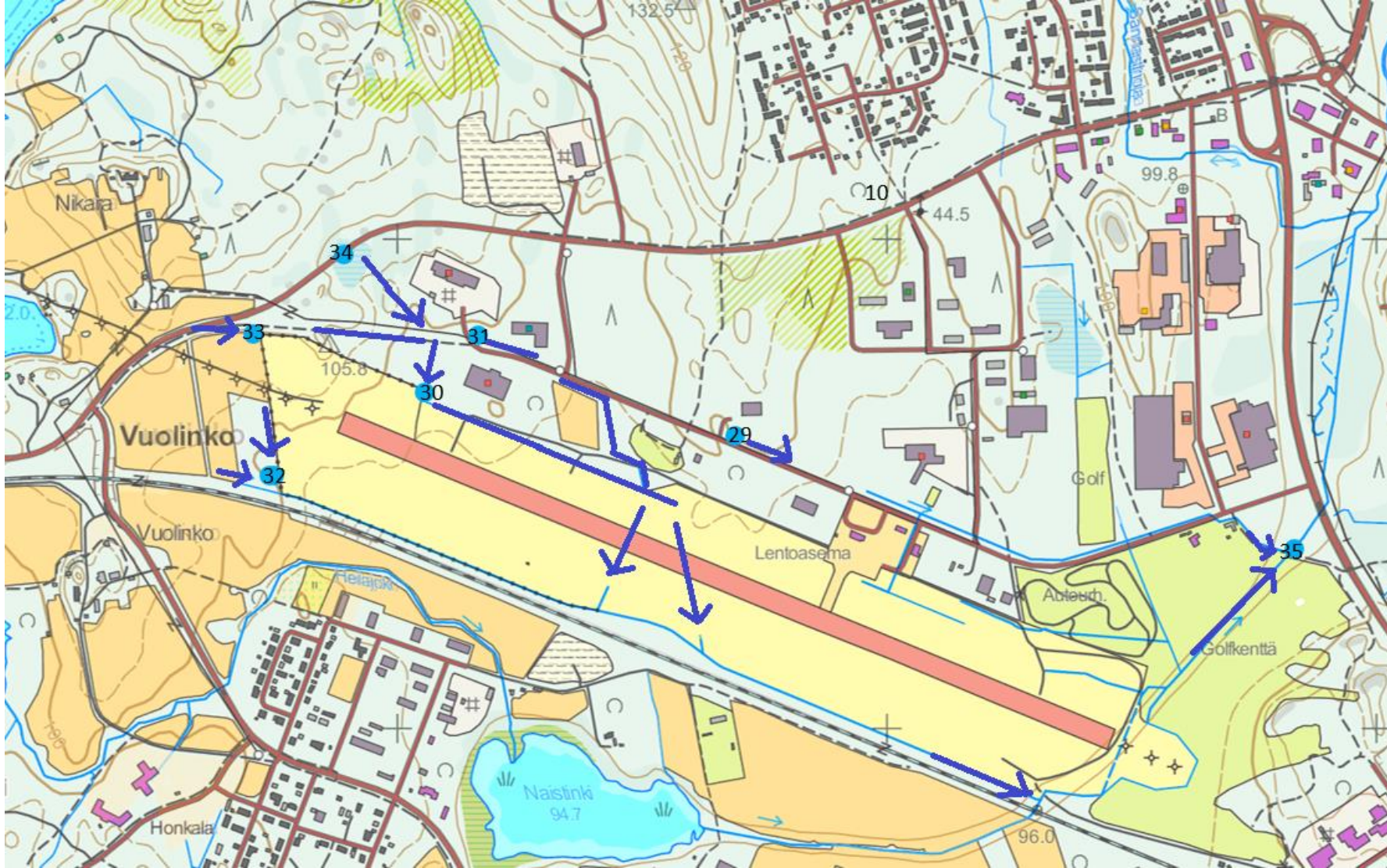
Tutkimusaluekartat ja näytteenottopisteet



Tutkimusaluekartat ja näytteenottopisteet



Tutkimusaluekartat ja näytteenottopisteet



LIITE 2
Analyysitulosten koontitaulukko

TAULUKKO 1. Analyysitulosten koontitaulukko

Näyte	pH	Sameus [NTU]	S. johtavuus [mS/m]	Kolif.[Pmy/100 ml]	E-coli todettu	Enterot [Pmy/100 ml]	Kok.P.(µg/l)	Kok.N. (µg/l)
A1-1	6,3	34,9	19,3				67	1190
A1-2	6,5	7,5	14,8					
A1-3	6,2	16,8	28,4					
A1-4	6,4	38,3	8,2					
A1-5	6,6	2,1	20,0					
A1-6	6,4	2,7	7,9					
A1-7	6,5	1,3	5,4					
A1-8	5,9	22,4	10,7					
A1-9	6,3	1,2	14,7					
A1-10	6,4	1,0	12,0				30	910
A1-11	6,3	3,1	13,3					
A1-12	6,4	25,0	8,2					
A1-13	6,1	6,8	21,7					
A1-14	6,8	10,3	17,8					
A1-15	6,7	30,7	13,8					
A2-16	6,5	1,0	5,1	>200,5	-	1,9		
A2-17	6,4	9,5	18,3	>200,5	+	39,8		
A2-18	6,8	7,9	16,8	200,5	-	21,6		
A2-19	6,7	5,5	16,4	>200,5	+	6,1		
A2-20	7,0	7,0	14,6	>200,5	+	25,8	53	630
A2-21	6,8	3,2	18,3	>200,5	-	9,3		
A3-22	7,0	16,3	16,8	>200,5	+	12,4	85	840
A3-23	6,8	8,0	16,6	53,1	-	2,1		
A3-24	6,3	7,5	16,1	200,5	-	1,5		
A3-25	4,4	10,8	4,6	>200,5	-	2,4	220	1680
A3-26	4,1	6,0	4,7	200,5	-	ei		
A3-27	6,0	12,9	3,6	>200,5	+	1,0		
A3-28	6,9	5,3	15,3	200,5	-	1,8		
A3-29	6,2	80,3	5,9	>200,5	-	19,5		
A3-30	6,6	2,3	6,1	>200,5	+	1,8	23	280
A3-31	6,0	5,1	4,0	>200,5	-	20,2	317	1400
A3-32	6,6	0,9	9,0	>200,5	+	400,0		
A3-33	6,9	10,2	10,9	>200,5	-	15,4		
A3-34	6,4	6,8	3,7	>200,5	-	5,1		
A3-35	6,8	5,1	6,0	>200,5	+	22,0	33	350

pH ja sameus

TAULUKKO 2. pH:n ja sameuden arvot

No. pvm.	Näyte	pH 1	pH 2	pH 3	pH	Sameus 1	Sameus 2	Sameus 3	Sameus [NTU]
27.11.2014	A1-1	6,32	6,30	-	6,3	33,50	36,30	-	34,9
27.11.2014	A1-2	6,55	6,54	-	6,5	7,22	7,80	-	7,5
27.11.2014	A1-3	6,15	6,17	-	6,2	15,47	18,12	-	16,8
27.11.2014	A1-4	6,42	6,40	-	6,4	23,60	52,90	-	38,3
27.11.2014	A1-5	6,60	6,60	-	6,6	2,40	1,83	-	2,1
27.11.2014	A1-6	6,36	6,36	-	6,4	1,84	3,47	-	2,7
4.12.2014	A1-7	6,34	6,64	-	6,5	0,76	1,91	-	1,3
4.12.2014	A1-8	5,93	5,95	-	5,9	21,50	23,20	-	22,4
4.12.2014	A1-9	6,30	6,32	-	6,3	1,49	0,89	-	1,2
4.12.2014	A1-10	6,31	6,40	-	6,4	1,03	1,04	-	1,0
4.12.2014	A1-11	6,30	6,35	-	6,3	3,14	3,13	-	3,1
4.12.2014	A1-12	6,37	6,43	-	6,4	20,70	29,30	-	25,0
4.12.2014	A1-13	6,07	6,12	-	6,1	7,34	6,21	-	6,8
4.12.2014	A1-14	6,72	6,80	-	6,8	9,19	11,39	-	10,3
4.12.2014	A1-15	6,65	6,68	-	6,7	31,60	29,80	-	30,7
16.12.2014	A2-16	6,48	6,48	-	6,5	0,74	1,32	-	1,0
16.12.2014	A2-17	6,45	6,34	-	6,4	10,14	8,87	-	9,5
16.12.2014	A2-18	6,86	6,83	-	6,8	8,62	7,25	-	7,9
16.12.2014	A2-19	6,81	6,68	-	6,7	4,9	6,13	-	5,5
16.12.2014	A2-20	7,01	6,90	-	7,0	7,42	6,54	-	7,0
16.12.2014	A2-21	6,84	6,85	-	6,8	2,59	3,84	-	3,2
16.3.2015	A3-22	6,99	6,99	7,02	7,0	16,63	16,36	15,95	16,3
16.3.2015	A3-23	6,69	6,80	6,83	6,8	7,97	7,97	8,20	8,0
16.3.2015	A3-24	6,30	6,31	6,36	6,3	7,66	7,53	7,41	7,5
16.3.2015	A3-25	4,37	4,37	4,37	4,4	10,79	10,56	11,08	10,8
16.3.2015	A3-26	4,09	4,09	4,09	4,1	6,74	6,25	5,00	6,0
16.3.2015	A3-27	5,99	6,01	6,04	6,0	11,73	12,53	14,45	12,9
16.3.2015	A3-28	6,82	6,88	6,90	6,9	5,44	5,32	5,15	5,3
24.3.2015	A3-29	6,24	6,22	6,23	6,2	80,40	85,30	75,20	80,3
24.3.2015	A3-30	6,54	6,56	6,57	6,6	2,26	2,49	2,24	2,3
24.3.2015	A3-31	6,03	6,03	6,03	6,0	5,37	4,57	5,38	5,1
24.3.2015	A3-32	6,63	6,65	6,66	6,6	0,91	0,87	0,78	0,9
24.3.2015	A3-33	6,93	6,95	6,93	6,9	9,35	11,15	10,17	10,2
24.3.2015	A3-34	6,40	6,38	6,40	6,4	6,64	6,57	7,18	6,8
24.3.2015	A3-35	6,76	6,77	6,79	6,8	4,38	5,40	5,39	5,1

Sähkönjohtavuus

TAULUKKO 3. Sähkönjohtavuuden tulokset

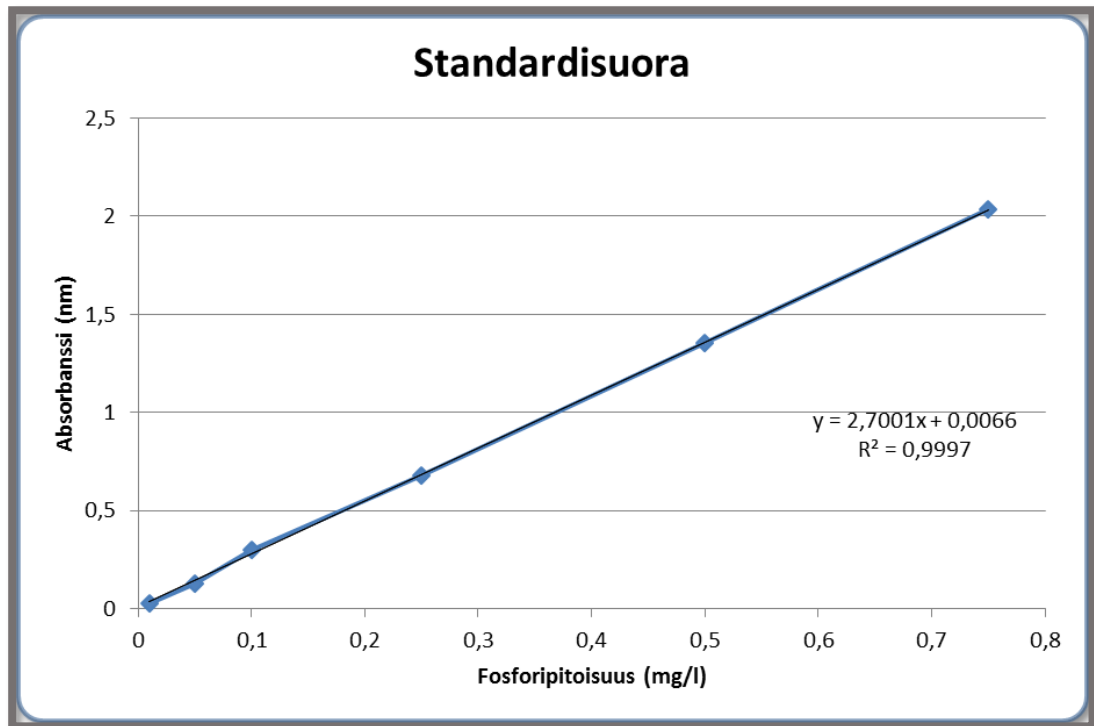
No. pvm.	Näyte	S.j. 1	S.j. 2	S.j. 3	T (°C)	Korjaus	S.j. [$\mu\text{s}/\text{cm}$]	S.j. [mS/m]
27.11.2014	A1-1	191,5	192,7	-	16,5	1,211	193,311	19,3
27.11.2014	A1-2	146,5	147,0	-	16,5	1,211	147,961	14,8
27.11.2014	A1-3	283,0	283,0	-	15,9	1,228	284,228	28,4
27.11.2014	A1-4	81,0	81,3	-	15,9	1,228	82,378	8,2
27.11.2014	A1-5	198,8	198,3	-	16,0	1,225	199,775	20,0
27.11.2014	A1-6	77,7	77,7	-	16,4	1,214	78,914	7,9
4.12.2014	A1-7	52,4	52,9	-	14,3	1,278	53,928	5,4
4.12.2014	A1-8	105,1	105,3	-	13,5	1,300	106,500	10,7
4.12.2014	A1-9	145,8	146,0	-	13,0	1,320	147,220	14,7
4.12.2014	A1-10	119,0	119,2	-	13,1	1,317	120,417	12,0
4.12.2014	A1-11	131,3	131,4	-	13,8	1,294	132,644	13,3
4.12.2014	A1-12	80,7	80,8	-	13,6	1,303	82,053	8,2
4.12.2014	A1-13	216,0	216,0	-	13,6	1,300	217,300	21,7
4.12.2014	A1-14	176,9	176,3	-	13,2	1,317	177,917	17,8
4.12.2014	A1-15	136,8	137,0	-	13,6	1,300	138,200	13,8
16.12.2014	A2-16	48,9	49,5	-	12,6	1,334	50,534	5,1
16.12.2014	A2-17	180,9	181,8	-	12,3	1,344	182,694	18,3
16.12.2014	A2-18	165,6	167,3	-	13,5	1,303	167,753	16,8
16.12.2014	A2-19	161,6	162,9	-	13,2	1,313	163,563	16,4
16.12.2014	A2-20	144,7	145,5	-	13,2	1,313	146,413	14,6
16.12.2014	A2-21	181,5	182,0	-	14,5	1,271	183,021	18,3
16.3.2015	A3-22	166,8	167,3	165,2	14,4	1,274	167,71	16,8
16.3.2015	A3-23	163,9	164,4	164,9	14,2	1,281	165,68	16,6
16.3.2015	A3-24	159,1	159,7	160,2	13,3	1,310	160,98	16,1
16.3.2015	A3-25	44,9	45,2	45,3	14,0	1,287	46,42	4,6
16.3.2015	A3-26	45,7	45,8	46,0	14,4	1,274	47,11	4,7
16.3.2015	A3-27	34,8	34,9	34,9	14,4	1,274	36,14	3,6
16.3.2015	A3-28	151,9	152,0	152,2	14,7	1,265	153,30	15,3
24.3.2015	A3-29	57,6	58,0	58,2	12,4	1,341	59,27	5,9
24.3.2015	A3-30	58,7	59,2	59,6	10,6	1,405	60,57	6,1
24.3.2015	A3-31	37,7	38,2	38,4	10,7	1,401	39,50	4,0
24.3.2015	A3-32	88,2	88,6	89,1	11,4	1,376	90,01	9,0
24.3.2015	A3-33	107,1	108,2	108,6	11,6	1,369	109,34	10,9
24.3.2015	A3-34	35,2	35,4	35,6	12,5	1,337	36,74	3,7
24.3.2015	A3-35	58,3	58,6	58,9	12,5	1,337	59,94	6,0

*Bakteerit***TAULUKKO 4. Bakteeripitoisuudet: Koliformiset, E. coli ja Enterokokit**

No. Pvm.	Näyte	Kolif.	[Pmy/100 ml]	Fluor.	E-coli tod.	Entero. / 100 ml	/200 ml	/300 ml	[Pmy/100 ml]
16.12.2014	A2-16	51	>200,5	0	-	2	5	4	2
16.12.2014	A2-17	51	>200,5	8	+	39	81	yli	40
16.12.2014	A2-18	50	200,5	0	-	15	47	79	22
16.12.2014	A2-19	51	>200,5	3	+	4	12	25	6
16.12.2014	A2-20	51	>200,5	3	+	23	59	75	26
16.12.2014	A2-21	51	>200,5	0	-	8	23	25	9
16.3.2015	A3-22	51	>200,5	1	+	10	31	35	12
16.3.2015	A3-23	33	53,1	0	-	ei	3	8	2
16.3.2015	A3-24	50	200,5	0	-	1	3	6	2
16.3.2015	A3-25	51	>200,5	0	-	ei	9	1	2
16.3.2015	A3-26	50	200,5	0	-	ei	ei	ei	ei
16.3.2015	A3-27	51	>200,5	23	+	ei	2	3	1
16.3.2015	A3-28	50	200,5	0	-	2	2	7	2
24.3.2015	A3- 29	51	>200,5	0	-	19	40	yli	20
24.3.2015	A3- 30	51	>200,5	1	+	2	3	6	2
24.3.2015	A3- 31	51	>200,5	0	-	20	50	31	20
24.3.2015	A3- 32	51	>200,5	25	+	400/yli	yli	yli	400
24.3.2015	A3- 33	51	>200,5	0	-	16	37	35	15
24.3.2015	A3- 34	51	>200,5	0	-	3	15	14	5
24.3.2015	A3- 35	51	>200,5	1	+	22	yli	66	22

Fosfori

Fosforipitoisuuden määrittämistä varten näytteiden absorbanssit mitattiin 880 nm aallonpituudella. Analyysilaitte muodosti tehtyjen standardiliuosten mitattujen absorbanssien perusteella kalibrointikäyrän ja sitä käyttäen ilmoitti näytteen mitatulla absorbanssilla saadun fosforipitoisuuden kullekin näytteelle. Tehtyjen standardiliuosten perusteella piirrettiin kalibrointikäyrä, absorbanssi (y) fosforipitoisuuden (x) funktiona (Kuva 1). Alla olevassa taulukossa on myös taulukoitu standardiliuosten, tarkistusliuosten sekä nollanäytteen absorbanssit.



KUVA 1. Fosforin standardisuora

Kalibrointikäyrän suoran yhtälöksi saatiin $y = 2,7001x - 0,0066$. Suoran korrelaatiokerroin kertoo vahvasta lineaarisesta riippuvuudesta. Kalibrointisuoran yhtälöstä laskettiin fosforipitoisuudet näytteille, saatujen absorbanssien avulla.

Fosforipitoisuudet laskettiin yhtälöllä $x = (y + 0,0066) / 2,7001$;

jossa x = fosforipitoisuus, ja y = näytteen absorbanssi.

TAULUKKO 4. Kontrolli- ja nollanäytteiden fosforipitoisuudet.

Kontrolli	Fosfori (mg/l)
K 0,1 A	0.11
K 0,1 B	0.12
K 0,5 A	0.5
K 0,5 B	0.5
Nollanäyte	Fosfori (mg/l)
0	0.01

Taulukossa 9 on esitetty kunkin näytteen fosforipitoisuudet (x) sekä lopulliset fosforipitoisuudet laimennokset huomioiden (x loppu). Menetelmällä saatujen lopputulosten virhe on $\pm 0,01 \text{ mg/l}$ / $\pm 10 \text{ } \mu\text{g/l}$. Näytteen A3-22 C -tulos poikkesi muista, joten se jätettiin pois lopputuloksesta

TAULUKKO 5. Fosforipitoisuudet

Näyte	Fosfori (mg/l)	Näyte	Fosfori loppu (mg/l)	Fosfori ($\mu\text{g/l}$)
A1-1 A	0,07	A1-1	0,067	67
A1-1 B	0,06			
A1-1 C	0,07			
A1-10 A	0,03	A1-10	0,030	30
A1-10 B	0,03			
A1-10 C	0,03			
A2-20 A	0,05	A2-20	0,053	53
A2-20 B	0,05			
A2-20 C	0,06			
A3-22 A	0,08	A3-22	0,150	150
A3-22 B	0,09	A3-22 korjattu	0,085	85
A3-22 C	0,28			
A3-25 A	0,20	A3-25	0,220	220
A3-25 B	0,24			
A3-25 C	0,22			
A3-30 A	0,02	A3-30	0,023	23
A3-30 B	0,02			
A3-30 C	0,03			
A3-31 A	0,30	A3-31	0,317	317
A3-31 B	0,31			
A3-31 C	0,34			
A3-35 A	0,03	A3-35	0,033	33
A3-35 B	0,04			
A3-35 C	0,03			

Kokonaistyyppi

Kokonaistypen pitoisuudet (x) laskettiin kaavalla:

$$x = ((V_n - V_0) \cdot c \cdot 14 \cdot 2 \cdot 1000) / V; \text{ jossa}$$

V_n = näytteen titraukseen kulunut rikkihappoliuoksen tilavuus (ml),

V_0 = nollanäytteen titraukseen kulunut rikkihappoliuoksen tilavuus (ml),

V = märkäpolttoon otettu näytemäärä (ml), c = rikkihapon konsentraatio,

14 = typen moolimassa (g/mol),

1000 = muuntokerroin (mg/g) ja

2 = muuntokerroin, kun titrauksessa käytetään kahdenarvoista happoa.

TAULUKKO 6. Typpipitoisuudet

Näyte	Titraus (ml)	Typpi (x) (mg/l)	Näyte	Lopputulokset (µg/l)
Nollanäyte			Nollanäyte	
O A	0,75	0,0000	O	0
O B	1	0,0000		
Kontrolli			Kontrolli	
K A	3,95	8,9600	K	8,96
K B	3,9	8,8200		
Näyte			Näyte	
A1-1 A	1,2	1,2600	A1-1	1190
A1-1 B	1,15	1,1200		
A1-10 A	1,05	0,8400	A1-10	910
A1-10 B	1,1	0,9800		
A2-20 A	0,9	0,4200	A2-20	630
A2-20 B	1,05	0,8400		
A3-22 A	1,05	0,8400	A3-22	840
A3-22 B	1,05	0,8400		
A3-25 A	1,35	1,6800	A3-25	1680
A3-25 B	1,35	1,6800		
A3-30 A	0,85	0,2800	A3-30	280
A3-30 B	0,85	0,2800		
A3-31 A	1,2	1,2600	A3-31	1400
A3-31 B	1,3	1,5400		
A3-35 A	0,9	0,4200	A3-35	350
A3-35 B	0,85	0,2800		

LIITE 4.
Analyysit

