

Kustannustietoinen datan tuotto suodatinrakenteissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tieto- ja viestintätekniikka, biotalouden koulutus

Kevät 2023

Alexi Heinilä

Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus

Tekijä Aleksi Heinilä

Työn nimi Kustannustietoinen datan tuotto suodatinrakenteissa

Ohjaaja Ari Hietala

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Tämä opinnäytetyö on suoritettu tutkimuksellisenä työnä. Työn tietoperustana toimivat erilaiset verkkolähteet, e-kirjat, sekä omat kokemukset ja ratkaisut Karanojan suodinkokeiden kanssa. Opinnäytetyön suunnittelu alkoi alkuvuodesta 2022, tietoperustan kerääminen ja opinnäytetyön kirjoittaminen alkoivat keväällä 2022.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö HAMK Bio, jossa kehitetään biotalouden ratkaisuja sovellus- ja liiketoimintalähtöisesti. Opinnäytetyön varsinaisena pohjana toimii HAMK Bion HULVATTU-hankkeen sisältämät Karanojan jätteidenkäsittelyalueella suoritettut hulevesien ääritilanteita simuloivat suodinkokeet, jotka suoritettiin syksyllä 2021 Hämeenlinnassa.

Tämän opinnäytetyön tavoite tuli tarpeesta vertailla Karanojan suodinkokeissa hyödynnettyjen datan tuottomenetelmien eroavaisuuksia kustannusrakenteina. Varsinaisen työn keskiössä oli selvittää kustannusrakenteiden eroavaisuuksia ja sen pohjalta selvittää molempien käytettyjen datan tuottomenetelmien kannattavuus kokonaisuutena.

Työssä käydään läpi vedenlaadun seuranta ja Karanojan suodinkokeissa hyödynnettyjä näytteiden analyysieihin käytettyjä laitteistoja ja menetelmiä, sekä myös käytössä olleiden anturien ja anturilaitteistojen perustoimintaperiaatteita.

Avainsanat Suodatin, kustannusrakenteet, anturit, kertamittaus, vedenlaatu, hulevesi

Sivut 20 sivua

This thesis was carried out as a research work. The information base of the work was based on various online sources, e-books and own experiences and solutions with Karanoja's filter experiments. The planning of the thesis began in early 2022, whereas the collection of the information base and the writing of the thesis began in spring 2022.

The thesis was commissioned by HAMK Bio, a research unit at Häme University of Applied Sciences, which develops bioeconomy solutions are developed in an application- and business-oriented way. The actual basis of the thesis was the filter experiments simulating extreme stormwater situations in the Karanoja waste treatment area within the HAMK Bio HULVATTU project, which were carried out in autumn 2021 in Hämeenlinna.

The aim of this thesis came from the need to investigate and compare the differences in the data yield methods used in Karanoja's filter experiments as cost structures. Thus, the focus of the actual work was to investigate the differences in cost structures and based on this, to determine the profitability of both methods used as a whole.

The work covered water quality monitoring and the equipment and methods used for sample analysis used in Karanoja's field experiments, as well as the basic operating principles of the sensors and sensor equipment in use.

Keywords Filter, cost structures, sensors, sample analysis, water quality, stormwater

Pages 20 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vedenlaadun mittaaminen.....	2
2.1	Mittausmenetelmät	3
2.1.1	Kjeldahl menetelmä	3
2.1.2	Spektrofotometri.....	4
2.2	Anturit	4
2.2.1	Lämpötila-anturit	5
2.2.2	Sähkönjohtavuus anturit	6
2.2.3	pH-anturit.....	6
3	HULVATTU-hanke	7
3.1	Karanojan suodinkokeet	8
3.2	Datantuottomenetelmät.....	11
3.2.1	Kertamittauksiin perustuva datantuottomenetelmä	11
3.2.2	Jatkuvatoiminen datantuottomenetelmä.....	12
4	Aineisto ja menetelmät	14
5	Tulokset	16
6	Johtopäätökset ja pohdinta.....	19
	Lähteet.....	21

Kuvat

Kuva 1.	HULVATTU-hankkeen työpaketit (HAMK, n.d.-b).....	8
Kuva 2.	Karanojan suodattimet (Aleksi Heinilä, 2021).	9
Kuva 3.	Karanojan koekenttä (Aleksi Heinilä, 2021).....	10
Kuva 4.	Anturit poistovesisäiliössä (Aleksi Heinilä, 2021).	13
Kuva 5.	Vertailun rakenne (Aleksi Heinilä, 2021).	14

Kuva 6. Taulukkokuva kaikista kustannuksista (Aleksi Heinilä, 2022).....	17
Kuva 7. Taulukkokuva aikaerittely (Aleksi Heinilä, 2021).....	18
Kuva 8. Taulukkokuva kustannuksista analyysilaitteistolla ja laajemmalla anturilaitteistolla (Aleksi Heinilä, 2021).	18

1 Johdanto

Dataa kerätään paljon, lähes jokaisesta asiasta mitä teemme ja sitä onkin mahdollista tuottaa nykypäivänä monella eri menetelmällä. Menetelmissä on kuitenkin eroja tulosten tarkkuuksista kustannusrakenteisiin asti. On ajankohtaista pystyä optimoimaan datan tuotto järkevimmällä tavalla kohdetarkoitukseen, miettimällä muun muassa erilaisten datan tuottomenetelmien vaatimaa ajankäyttöä ja kustannusrakenteita.

Tämä opinnäytetyö tehtiin HAMK Bion HULVATTU -hankkeen toimeksiantona, jossa keskiössä on vuonna 2021 suoritettut suodinkokeet Hämeenlinnassa Karanojan jätteenkäsittelyalueella. Hankkeen suodinkokeissa oli tarkoituksena tutkia biohiilen, hiekan ja niiden yhteisseoksien suodatuspotentiaalia hulevesien ääritilanteita simuloivissa olosuhteissa, jonka pohjana toimi Karanojalla sijaitseva suotovesiallas. Dataa Karanojan suodinkokeista kerättiin kertamittauksiin perustuvalla menetelmällä keräämällä näytteitä ja analysoimalla niitä jätevesilaboratoriossa, sekä jatkuvatoimisesti vesimittauksiin tarkoitetun anturilaitteiston avulla.

Opinnäytetyön pohjana toimii Karanojalla tehdyt datan tuoton ratkaisut ja menetelmät sekä niiden kustannusrakenteet. Tavoitteena oli selvittää miten kertamittauksiin perustuva datan tuottomenetelmä ja jatkuvatoimisesti toimiva datan tuottomenetelmä eroavat kustannusrakenteina. Kustannusrakenteiden erojen perusteella pystyttiin selvittämään missä tilanteissa kannattaa keskittyä kertamittauksiin perustuvaan datan tuottomenetelmään ja milloin taas jatkuvatoimiseen datan tuottomenetelmään

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö HAMK Bio. HAMK Bio -tutkimusyksikkö on keskittynyt kehittämään sovellus- ja liiketoimintalähtöisesti biotalouden ratkaisuja. HAMK Bio luo uutta tutkimustietoa käytännönläheisissä olosuhteissa monipuolisissa tutkimusympäristöissä. (HAMK, n.d.-a)

2 Vedenlaadun mittaaminen

Vedenlaatu kertoo veden tilasta ja siinä tapahtuvia muutoksista. Vedenlaatua seuraamalla saadaan tietoa vesien kehittämisestä. Vedenlaatu vaihtelee vuodenaikojen ja eri sääolosuhteiden mukaan. Vedenlaatua voidaan tutkia usealla eri mittarilla, kuten muun muassa fysikaalisilla ja kemiallisilla tekijöillä. Yksi vedenlaadun perusmäärittäjiä on lämpötila, joka mitataan yleensä vesinäytteen oton yhteydessä. Sillä on oleellinen merkitys kaikkien mittausarvojen suhteen ja sitä hyödynnetään muun muassa happikylläisyysasteen laskemisessa. Lämpötilan avulla voidaan myös selvittää vesien kerrosteisuustilanne, joka on oleellinen alusveden analyysiarvojen tulkinnassa ja happitaloudessa. (Syke, 2017; Oravainen, 1999, s. 1)

Fysikaalisia ja kemiallisia tekijöitä vedenlaadussa ovat ravinteet kuten kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi. Kokonaistyyppi ilmaisee kaikki eri tyypin esiintymismuodot vedessä. Jäte-, valuma- ja sadevesien mukana tyyppiä päätyy vesistöihin. Ne ovat merkittäviä tekijöitä veden rehevyyden ja tuotannon arvioinnissa. Merkittävä ravinne on nitraattityppi, joka on myös olennainen vesistön kannalta, muun muassa levät ja kasvit käyttävät sitä ravinnokeksi. Alhaiset nitraattityppitasot kertovat vesistön aktiivisesta levätuotannosta. Nitraattityppiravinteita päätyy vesistöihin jätevesipäästöjen ja lannoitteiden kautta. Ammoniumtyyppiä esiintyy vähäisesti luonnonvesissä, korkeat pitoisuudet vaativat tietynlaisia olosuhteita tai jätevesikuormitusta. Vesistöissä ammoniumtyppi aiheuttaa hapenkulutusta. Ammoniumtyyppiä vesistöihin päätyy esimerkiksi asutusten jätevesistä, jotka sisältävät suhteellisesti paljon ammoniumtyyppiä. Vesistöistä voidaan määrittää myös COD, jolla tarkoitetaan kemiallista hapenkulutusta. COD kertoo kemiallisten hapettavien orgaanisten aineiden määrästä vedessä. Sen määrittämisessä osittain hapettuvat humusyhdisteet kuvaavat samalla vesien humusleimaisuutta. (Syke, 2017; Mutanen, 2016; Oravainen, 1999, ss. 15–21)

pH-arvo kertoo veden happamuudesta ja vedessä esiintyvien vetyionien määrästä.

Luonnonveden happamuus on tyypillisesti 6,5–8,2 ja normaali veden happamuus on lähellä neutraalia. Jos veden happamuus on alle 6, on vesistö hapan ja mikäli veden happamuus on enemmän kuin 8 on vesistö emäksinen. Yli 9 veden happamuusarvot liittyvät rehevien

lampien kasviplanktonin- tai uposkasvien yhteyttämisestä. Happamat ja emäksiset arvot voivat liittyä myös vesistön pilaantumiseen. (Oravainen, 1999, s. 12)

Veden sameus kuvaa vedessä esiintyvää sameutta. Sameuden yksikkönä on FTU, joka tulee sanoista Formazin Turbidity Units. Kirkkaan veden FTU on pienempi kuin 1 ja lievästi samean veden FTU on 1–5 välillä, joka on tyypillinen lievästi rehevöityneille vesistöille. Veden sameus kertoo siinä olevista humus-, maa-aines-, planktonlevä ja siitepölyaineksista. Sameuden voimakkuuteen vaikuttaa veteen liettyneen aineen pitoisuus ja hiukkaskoko. (Oravainen, 1999, s. 8)

Veden sähkönjohtavuudella määritellään sen sähkönjohtokyky, joka kertoo veteen liuenneiden suolojen pitoisuudesta. Jätevedet ja peltolannoitus tyypillisesti lisäävät suolojen määrää vesistöissä. Sisävesissä sähkönjohtavuutta lisäävät muun muassa kalium, kalsium, kloridit, natrium, magnesium ja sulfaatit. (Oravainen, 1999, s. 10)

2.1 Mittausmenetelmät

Erilaisia mittausmenetelmiä vedenlaadun mittaamiselle on monia, niin kuin on mitattavia suureita. Seuraavissa kappaleissa avataan ja syvennytään muutamaa tämän opinnäytetyön kannalta oleellisiin menetelmiin.

2.1.1 Kjeldahl menetelmä

Kjeldahl menetelmän on keksinyt tanskalainen kemisti Johan Kjeldahl, menetelmä on esitelty vuonna 1883. Alun perin sitä on käytetty proteiinin määrittämiseen mutta se on laajentunut typen määrittämiseen suolan ja katalyyttien myötä. Nykypäivänä se on yleisesti hyväksytty menetelmä ja sitä käytetään muun muassa elintarvikkeissa, ympäristönäytteissä ja kemikaaleissa typen määrittämiseen. Kjeldahl menetelmä edellyttää kuitenkin asianmukaista näytteiden ottoa ja käsittelyä. Kjeldahl menetelmällä on myös eri muunnelmia, jotka perustuvat eri näytekokoon ja laitteistoon. Käytössä on esimerkiksi nopeita ja tarkkoja instrumentaalimenetelmiä, joista on etuja suurien näytemäärien analysoinnissa. (Sáez-Plaza ym., 2013, ss 224–272)

Menetelmä koostuu kolmesta vaiheesta, jotka ovat näytteen hajotus, tislauk ja titraus. Hajotusvaiheessa näytteeseen lisätään rikkihappoa, suoloja ja katalyyttejä. Seuraavaksi näytettä poltetaan korkeassa lämpötilassa, jolloin orgaaninen typpi muuntuu ammoniumiksi. Tislaukvaiheessa jäähtyneeseen näytteeseen lisätään natriumhydroksidia, joka muuttaa näytteen ammoniumin ammoniakiksi. Ammoniakkikaasu johdetaan vastaanottoliuokseen, joka voi olla esimerkiksi boorihapon vesiliuosta. Vastaanottoliuoksesta, josta voidaan määrittellä siihen sitoutuneen typen määrä käyttämällä vastaanottoliuoksen mukaan oikeaa laskukaavaa. (Pesälä, 2016, ss. 8–11) Nykypäivänä Kjeldahl typpimääritykseen on myös mahdollista hyödyntää automaattisia analysaattoreita, jossa analysaattori tislauk ja titraa näytteen sekä laskee tuloksen automaattisesti.

2.1.2 Spektrofotometri

Spektrofotometri mittaa näytteen absorbanssia, valaisemalla valonsäteitä näytteen läpi. Liuenneen aineen pitoisuus näytteessä voidaan määrittää mittaamalla havaitun valon intensiteetti. Spektrofotometriä käytetään muun muassa biologisessa, kemiallisessa ja ympäristötutkimuksessa. (Hämäläinen, 2013, ss. 17–18; Sumerlab, 2020) Spektrofotometrillä voidaan mitata esimerkiksi jätevedestä veden COD, fosfori ja sameus.

Näytteeseen kohdistettu valonsäde koostuu fotonisäteistä. Näytteessä olevat molekyylit voivat absorboida osan siihen kohdistetusta fotonisäteistä. Valon voimakkuus määritellään valon läpäisevyytenä näytteen läpi kulkevasta valosta. Absorbanssi on päinvastainen valon läpäisyyn nähden, joka vastaa spektrofotometrin mittaamaa määrää. Liuosnäytteen pitoisuus voidaan määrittää Lambert-beerin lailla, joka osoittaa lineaarisen yhteyden absorbanssin ja näytepitoisuuden välillä. Absorbanssin mittaamisen tarkoituksena on yleensä mitata näytteen pitoisuutta. (Sumerlab, 2020)

2.2 Anturit

Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka muuntaa fyysisiä ilmiöitä sähköisiksi signaaleiksi. Anturit ovat osana rajapintaa sähkölaitteiden ja fyysisen maailman välillä.

Tietojenkäsittelyteknologia on kehittynyt merkittävästi viime vuosien saatossa.

Mikroprosessorit hyödyntävät anturitekniologiaa, koska ne tarvitsevat sähköistä sisääntuloa, jotta ne saavat tarvittavaa dataa toimiakseen halutulla tavalla. Mikroprosessorien yleistymisen myötä halpa hinta ja hyvä saatavuus ovat mahdollistaneet antureiden hyödyntämisen erilaisissa tuotteissa. Anturit yleensä luonnehditaan samalla tavoin kuin muutkin elektroniikkalaitteet, ja niiden tietosivut ovat muotoiltu vastaavanlaisesti. (Wilson, 2005, s. 1)

Anturit eivät toimi laitteena sellaisenaan, vaan ne tarvitsevat aina jonkinlaisen järjestelmän taakse ja näin ollen ne ovat osa suurempia järjestelmiä. Järjestelmät anturien takana koostuvat erilaisista signaalienkäsittelypiireistä. Anturien taustalla toimiva järjestelmä usein onkin jonkinlainen mittaus- tai datankeruujärjestelmä. (Wilson, 2005, s. 16)

Antureita luokitellaan monella tapaa, esimerkiksi signaalin käsittelyn näkökulmasta anturit voidaan jakaa aktiivisiksi tai passiivisiksi. Aktiiviset anturit tarvitsevat ulkoista virtaa tai jännitettä, joka kulkee anturin läpi esimerkkinä muun muassa termistorit ja vastuslämpötila ilmaisimet. Passiiviset anturit eivät tarvitse ulkoista virtaa tai jännitettä, vaan ne tuottavat itse oman ulostulo signaalinsa esimerkkinä muun muassa termoparit ja fotodiodit. (Wilson, 2005, s. 16)

2.2.1 Lämpötila-anturit

Lämpötilalla on merkittävä vaikutus mitattavissa kohteissa ja se onkin laajimmin mitattu muuttuja. Lämpötila määritellään kylmyys- ja lämpöasteiksi tiettyyn asteikkoon, sitä voidaan myös määrittellä lämpöenergian määräksi jossakin esineessä tai järjestelmässä. (Wilson, 2005, s. 531)

Lämpötilan havainnointi antureilla voidaan jakaa kahteen tyyppiin, kosketuksellinen mittaus ja kosketukseton mittaus. Kosketus mittauksessa edellytyksenä on se, että anturi on fyysisesti kontaktissa mitattavan kohteen kanssa. Tätä menetelmää voidaan hyödyntää kiintoaineiden, nesteiden tai kaasujen laajalla mittausalueella. Kosketuksettomassa mittauksessa anturi tulkitsee sähkömagneettisen spektrin infrapuna osissa säteilevää energiaa. Menetelmää voidaan hyödyntää kiintoaineiden ja nesteiden lämpötilojen

havainnointiin, mutta kaasun lämpötilan havainnoimiseen se ei ole tehokas kaasun luontaisen läpinäkyvyyden takia. (Wilson, 2005, s. 531)

Lämpötila-anturit havaitsevat lämpötilan muutoksen fyysisillä parametreilla, kuten ulostulojännite tai resistanssi, joka vastaa lämpötilan muutosta. Lämpötila-anturit voidaan jakaa kolmeen perheeseen: sähkömekaanisiin-, elektronisiin- ja resistiivisiin antureihin. Resisttiiviset anturilaitteet (kuten termistorit tai lämpöherkät vastukset) muuttavat sähköresistanssia suhteessa lämpötilaan. Termistoreita on olemassa kahta eri tyyppiä, positiivinen lämpökerroin (PTC) ja negatiivinen lämpökerroin (NTC). PTC-laitteissa anturin resistanssi nousee lämpötilan noustessa ja NTC-laitteissa anturin resistanssi laskee lämpötilan noustessa. (Wilson, 2005, ss. 531–534)

2.2.2 Sähkönjohtavuus anturit

Sähkönjohtavuutta mittaavia antureita hyödynnetään erilaisten nesteiden sähkönjohtavuuden mittaamiseen, kuten teollisuuden prosessivedet, ihmisten juomavedet ja merivedet. Sähkönjohtavuutta mittaavia antureita on erilaisia kuten kahden elektrodin anturit ja neljän elektrodin anturit. Sähkönjohtavuudessa voidaan käyttää yksikköä mikro Siemensiä per senttimetri ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (Utmel, 2022)

Tyypillisin käytössä oleva kahden elektrodin anturi koostuu kahdesta litteästä elektrodista. Sen ominaisuuksiin kuuluvat yksinkertainen rakenne ja valmistusmenetelmä, hyvä mittaustarkkuus ja helppokäyttöisyys. Anturiin syötetään vakiojännite, jonka jälkeen anturin resistanssi vaihtelee nesteen johtavuuden mukaan. Muutokset nesteen resistanssissa noudattavat ohmin lakia, jossa sähkönjohtavuus on verrannollinen anturin resistanssin käänteisarvoon eli konduktiivisuuteen. (Utmel, 2022; Libelium, n.d.)

2.2.3 pH-anturit

Tutkimuksessa on paikoitellen oleellista ja tärkeää tietää liuoksen tarkka pH. Menetelmiä pH-arvon määrittämiseksi on useita, mutta usein käytössä on pH-anturi. pH-anturi on yhdistelmäelektrodi, joka koostuu kahdesta elektrodista, joista toinen on mittauselektrodi ja

toinen vertailuelektrodi. pH-mittaaminen koostuu usein kolmesta osasta, jotka ovat pH-anturi, esivahvistin ja analysaattori tai lähetin. Yleensä pH-anturit tuottavat 0 millivoltin jännitteen neutraalissa pH-arvossa. (Metropolia, 2015; Libelium, n.d.)

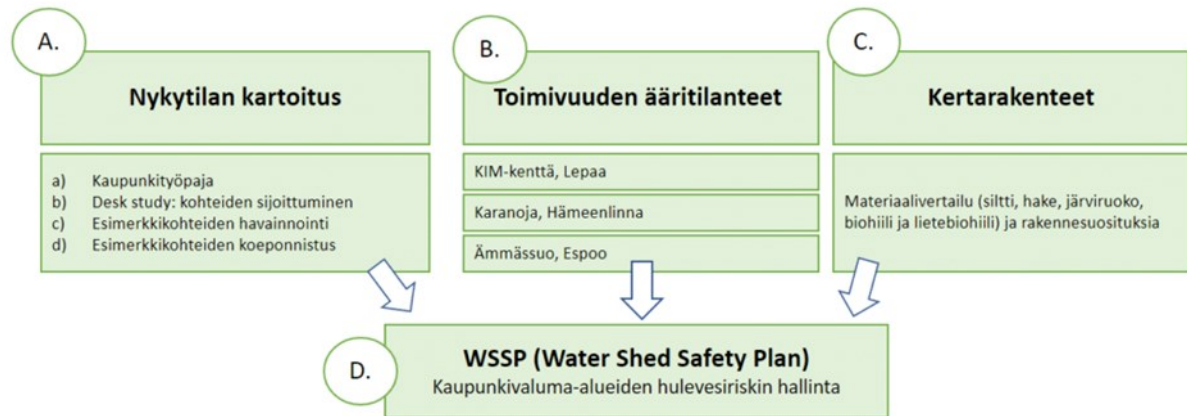
Mittauselektrodi valmistetaan ionilasista, mikä luo ioniselektiivisen esteen, jonka tarkoituksena on seuloa vetyionit liuoksesta. Vertailuelektrodi on valmistettu kemiallisella neutraalilla puskuriliuoksella, jonka annetaan vaihtaa ioneja mitattavan liuoksen kanssa. Vertailuelektrodi on suunniteltu pitämään vakio potentiaali eri lämpötiloissa. Elektrodi luo referenssin, jonka perusteella se vertaa mittauselektrodin potentiaalilukemia. Vertailupotentiaalia vertaamalla pH-elektrodin potentiaaliin, syntyy mittauksen mahdollistava pH-arvoon verrallinen signaali. (Metropolia, 2015; Libelium, n.d.)

3 HULVATTU-hanke

Huleveden kaupunkivaluma-aluelähtöisessä turvallisuussuunnittelussa lyh. HULVATTU. Hanke kehittää kaupunkialueelle valuma-aluepohjaisen turvallisuuskehityksen hajautetulle huleveden hallinnalle. Se perustuu yksittäisiin ja erillisiin hulevesirakenteisiin, joka luo selkeän tavoitteen monikäyttöisille hulevesirakenteille kaupunkisuunnittelulle, toimijoille ja maanomistajille.

Hanke jaetaan neljään osa-alueeseen (kuva 1), jossa ensimmäisessä A- osiossa selvitetään hulevesirakenteiden tämänhetkinen tilanne ja sen sijoittuminen kaupunkirakenteisiin. B- osiossa määritetään hulevesien hallintarakenteiden toimintaa ääriolosuhteissa ja kehitetään kertasuojamenetelmiä muuttuville olosuhteille. C- osiossa keskitytään hulevesisuojausten rakentamisessa käytettäviin menetelmiin ja materiaaleihin. Edellä mainitun perusteella kokoavassa D-osiossa, keskitytään kaupunkivaluma-alueiden hulevesiriskeihin. Osiossa hyödynnetään uutta valuma-alueiden vesistökuormitusta vähentämiseen tarkoitettua riskienhallintatyökalua Water Shed Safety Plan (WSSP), joka määrittää hulevesien riskit yhteen maankäyttöisten mahdollisuuksien kanssa.

Kuva 1. HULVATTU-hankkeen työpaketit (HAMK, n.d.-b).



Tässä työssä keskitytään HULVATTU-hankkeen osioon B. Toimivuuden ääritilanteisiin ja erityisesti Hämeenlinnan Karanojan jätteidenkäsittelyalueella elo-marraskuussa 2021 suoritettuihin suodinkokeisiin, jotka sisältävät kokeellista tutkimustietoa hulevesien hallintarakenteiden toimivuudesta ääritilanteissa sekä päästöjen hallinnan tehostamiseksi. Karanojan jätteidenkäsittelyalueella simuloitiin olosuhteita hulevesien ääripäästä käsittelemällä jätteidenkäsittelyalueen hulevesiä, hyödyntäen biohiili-hiekka seos suodintratkaisuja.

3.1 Karanojan suodinkokeet

Syksyllä 2021 Karanojan jätteidenkäsittelyalueella suoritettiin hulevesien ääritilanteita havainnollistavia kokeita, jossa suodatettiin Karanojalla sijaitsevalta suotovesialtaasta saasteista vettä erilaisten biohiili-hiekkasuotimien läpi. Koejakso kesti elokuun loppupuolelta marraskuun alkuun ensimmäisiin pakkasöihin.

Karanojan jätteenkäsittelyalue ja kaatopaikka sijaitsee Hämeenlinnassa, Hattelmalan kaupunginosassa, jossa toimii Kiertokapula Oy. Karanojan jätteenkäsittelyalueella on suotovesiallas, jota hyödynnettiin HULVATTU-hankkeen huleveden ääritilanteita simuloivan suodinkokeiden pohjana. Suotovesiallasta on myös aikaisemminkin hyödynnetty toisessa hankkeessa biohiilen suodatuskykyyn liittyvissä vastaavanlaisissa kokeissa, johon HULVATTU-hankkeen kokeet vahvasti pohjautuvat.

Suodattimia oli rakennettu kolme kappaletta, joiden runkoina toimivat IBC-kontit (kuvat 2–3). Kaikki kolme suodatinta koostuivat kolmesta osasta: salaojakerroksesta, siirtymäkerroksesta ja suodinosasta, joissa salaojakerros ja siirtymäkerros ovat samanlaiset kaikissa suodattimissa. Ensimmäisessä suodattimessa suodinosassa sisälsi pelkkää hiekkaa, jonka raekoko oli 1–3 mm Toisessa suodattimessa suodinosassa sisälsi 30 % biohiiltä ja 70 % hiekkaa. Kolmannen suodattimen suodinosassa oli 70 % biohiiltä ja 30 % hiekkaa.

Kuva 2. Karanojan suodattimet (Aleksi Heinilä, 2021).



Vettä suodattimille pumpattiin ja laskettiin uppopumpulla suoraan suotovesialtaasta esisuodatuskonttiin, jonka tarkoituksena oli estää mahdollisen kiintoaineen kulku suodattimille ja näin ollen välttyä suodattimien tukkeutumiselta ja mahdollisilta ylivuodoilta. Esisuodatuskontista vettä pumpattiin painevesiautomaatilla jakotukin kautta varsinaisiin suodattimiin. Jakotukissa oli asennettuna kolme kappaletta virtausmittareita, jotta tiedettiin virranneen veden määrä suodattimiin. Jokaisessa suodattimessa oli asennettu hana, jonka

avulla oli mahdollista säätää virtausta suodattimelle. Jokaiselle suodattimille oli rakennettu sadettimet, jotka levittivät vettä tasaisesti suodattimille.

Kuva 3. Karanojan koekenttä (Aleksi Heinilä, 2021).



Suodattimiin virtaavan veden virtausnopeus oli suunnitelman mukaan aluksi 20 l/min, mutta sitä jouduttiin laskemaan 5–10 l/min, kokeiden hyvin varhaisessa vaiheessa. Syy virtauksen laskemiselle oli, että vesi ei virrannut riittävän nopeasti suodattimien läpi, joka mahdollisti ylivuotoriskin. Suodattimet olivat sateelta suojattuja, ettei sadevesi pääsisi vaikuttamaan tuloksiin. Pumput olivat käynnissä arkipäivät ja ne sammutettiin viikonlopuksi, jotta näytteenottovälit olisivat mahdollisimman tasaisia.

3.2 Datantuottomenetelmät

HULVATTU-hankkeessa Karanojalla suoritetuissa suodinkokeissa tarkoituksena oli ottaa perinteisiä näytteitä ja analysoida niitä tarkkojen tulosten saavuttamiseksi. Näytteitä myös säilöttiin pakastimessa, jotta niihin voitiin tarvittaessa palata. Anturit oli asennettu suodatusjärjestelmään laboratorioanalyysien tueksi. Antureiden tiheän päivitysvälin ansiosta voitiin nopeasti reagoida erilaisiin muutoksiin ja tehdä tarkempia laboratorioanalyysijä.

Näytteenottosuunnitelman mukaan näytteitä otetaan joka päivä, aina kun suodattimet olivat käynnissä. Näytteidenoton yhteydessä analysoitiin heti tuoreeltaan laboratoriossa happamuus, sameus ja sähkönjohtokyky. Happamuus ja sähkönjohtokyky mitattiin noin koejakson puolivälin jälkeen käsimittarilla suoraan kentältä.

3.2.1 Kertamittauksiin perustuva datantuottomenetelmä

Kertamittauksiin perustuvalla mittausmenetelmällä tarkoitetaan näytteiden ottamista ja niiden analysointia jätevesilaboratoriossa. Karanojan koejakson aikana näytteitä otettiin esisuodatuskontin vedestä ja jokaisen suodattimen poistovedestä. Näytteitä otettiin 250 ml koepulloihin ja jokaisesta näytteenottokohdasta otettiin kolme pulloa näytettä. Vedestä haluttiin analyysien COD, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, nitraattityppi, kokonaisfosfori, sähkönjohtavuus, pH ja sameus.

Näytteitä otettiin joka päivältä kolme näytepulloa jokaisesta näytteenottokohdasta, kun suodattimet olivat käynnissä. Näytteitä pyrittiin ottamaan mahdollisimman tasaisin välein, kun vettä oli virrannut riittävästi edellisestä näytteenottohetkestä. Näytteistä analysoitiin heti suoriltaan sameus, sähkönjohtavuus ja pH. Loput näytepullot säilöttiin pakastamalla. Muut analyysit tehtiin koejakson loputtua. Vesinäytteet analysoitiin HAMK Bion jätevesilaboratoriossa.

Kaikista näytteistä (pl. COD, sameus, fosfori) määritettiin aina kaksi rinnakkaista tulosta. Kokonaistyyppi märkä poltettiin, jonka jälkeen näyte asetettiin automaattiseen analysaattoriin. Ammoniumtyypen määrittäminen toimi samalla periaatteella, mutta ilman

märkäpolttoa. COD, nitraattityppi ja fosfori määritettiin liuottamalla näytteet ensin reagenssiputkiin, jonka jälkeen ne määritettiin spektrofotometrillä. Näiden näytteiden valmistelu toimintatavoissa oli pieniä eroavaisuuksia riippuen määritettävästä analyysistä. Sameus määritettiin pipetoimalla 5 ml näytettä pieneen lasiastiaan, jonka jälkeen se määritettiin spektrofotometrillä

Näytteiden analysoinnin jälkeen tulokset kirjattiin manuaalisesti ylös, jonka jälkeen ne vietiin erilliseen Excel-taulukoon. Tuloksiin laskettiin tarvittavat korjauslaskelmat, sekä kaikkien rinnakkaistulosten keskiarvo ja keskihajonta.

3.2.2 Jatkuva toimiva datantuottomenetelmä

Jatkuva toimiva mittausmenetelmässä hyödynnettiin Libelium Smart Water järjestelmää, johon kuuluu keskusyksikkö mihin kiinnitetään halutut anturit. Karanojalla käytettiin neljää eri anturia mittaamaan suotovettä ennen ja jälkeen suodattimien. Anturit mittasivat veden lämpötilaa, sähkönjohtokykyä, pH-arvoa ja redoxpotentiaalia. Anturijärjestelmien virtaratkaisuiksi asennettiin jokaisen keskusyksikön päälle aurinkopaneeli. Keskusyksiköitä oli myös mahdollista ladata suoraan verkkovirran kautta.

Anturit asennettiin esisuodatuskontin runkoon mittaamaan suodattamatonta vettä ja jokaisen suodattimen poistovesisäiliöön mittaamaan suodatettua vettä (kuva 4). Anturien keskusyksiköt olivat kiinni IBC-konttien rungossa aurinkopaneelien alla. Anturit lähettivät dataa keskusyksiköidensä kautta pilveen, josta sitä oli mahdollista tarkastella reaaliajassa. Antureita puhdistettiin ja ne siirrettiin puhtaaseen veteen aina kaikkien mahdollisten seisakkien ajaksi. Näytteidenoton ja mahdollisten huoltotöiden ohessa antureita puhdistettiin.

Kuva 4. Anturit poistovesisäiliössä (Aleksi Heinilä, 2021).



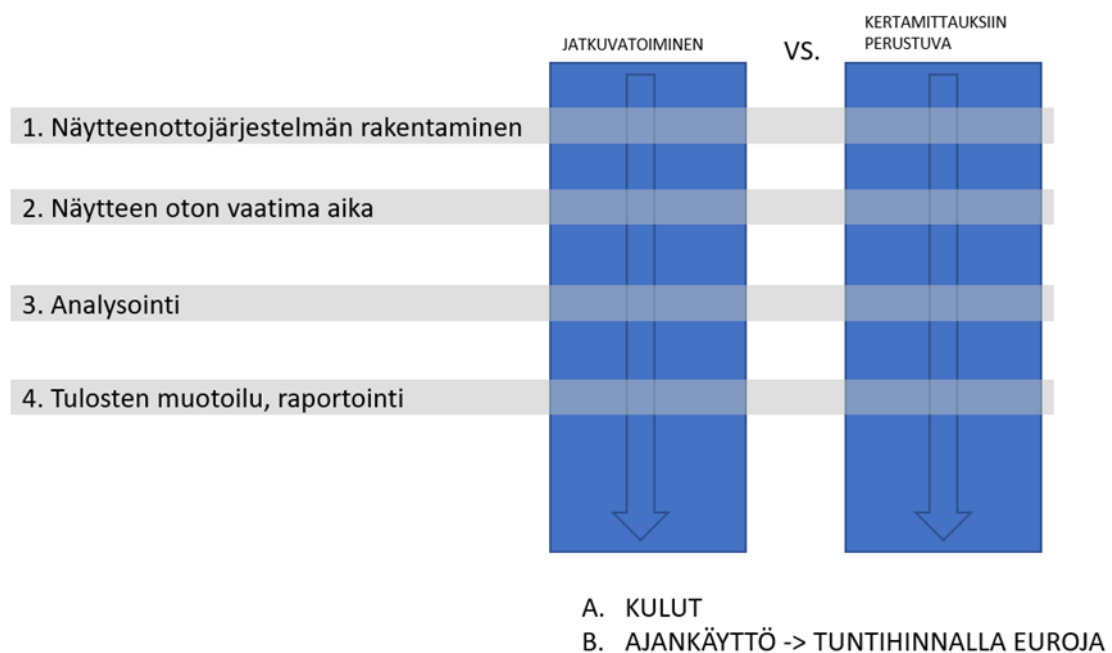
Anturien tarkkuus ei ollut niin tarkka kuin laboratorioanalyseissä. Antureiden tuottamassa datassa keskityttiin enemmän tutkimaan tapahtunutta muutosta ja verrata sitä laboratoriossa saatuihin tuloksiin. Anturien tuloksiin vaikutti vaihtelevat sääolosuhteet kuten lämpötila, jonka seurauksena kentällä mitatuissa tuloksissa on eroavaisuuksia laboratoriossa mitattuihin tuloksiin.

Jatkuvatoimisessa mittausmenetelmässä anturien lähettämä data oli suoraan luettavissa pilvipalvelussa. Dataa pystyi helposti lukemaan analysoimaan eri ajanjaksoilta tai koko mittausajalta erilaisten kuvaajien avulla. Dataa pystyi myös lataamaan pilvipalvelusta ja sitä oli mahdollista analysoida ja muokata.

4 Aineisto ja menetelmät

Vertailun kohteena olivat jatkuvatoiminen mittausmenetelmä ja kertamittauksiin perustuva mittausmenetelmä (kuva 5). Näitä menetelmiä verrataan neljällä eri tekijällä, jotka ovat näytteenottojärjestelmän rakentaminen, näytteenoton vaatima aika, näytteiden analysointi, tulosten muotoilu ja raportointi. Näitä verrataan kustannuskuluina eli paljonko kumpikin menetelmä maksaa kokonaisuutena.

Kuva 5. Vertailun rakenne (Aleksi Heinilä, 2021).



Tavoitteena on vertailla koko koejakson ajalta kustannuskuluja kummastakin datantuottomenetelmästä. Pohjana tähän työhön toimii HULVATTU-hankkeessa suoritettut Karanojan suodinkokeet. Jatkuvatoimisessa menetelmässä hyödynnettiin Libelium Smart Water järjestelmää. Kertaluontoisessa menetelmässä hyödynnettiin HAMK Bion jätevesilaboratoriota ja välineistöä.

Karanojan suodatinkokeiden datantuottomenetelmien kustannusrakenteet selvitettiin erittelemällä ajankäyttö ja hankinnat Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Excel-taulukoissa jokainen vertailukohta oli eritelty toisistaan omiin välilehtiinsä ja niihin oli purettu sen osa-

alueen ajankäyttö ja hankinnat. Excel-taulukkolaskentaohjelmassa tehtiin myös taulukot tulosten esittämiseksi ja niiden analysoimiseksi. Excel-taulukoihin oli myös eritelty erilaisia kustannusrakenteita erilaisilla laitteistoilla ja kokoonpanoilla, jolloin saadaan erilaisia tuloksia, joita voidaan vertailla keskenään. Tässä työssä on keskitytty Karanojan suodinkokeisiin perustuviin tilanteisiin ja siihen liittyviin vaihtoehtoihin.

Jokaisen vertailukohdan ajankäyttö muunnettiin käytetyistä työtunneista euroiksi laskemalla yhden työntekijän palkkakustannukset hankkeen näkökulmasta. Jokainen työvaihe kirjattiin minuuteissa, jonka jälkeen ne muunnettiin tunneiksi ja sitten euroiksi. Tässä työssä laskukaavana käytettiin työtunnit kerrottuna 17, joka vastaa yhden työntekijän työtuntikustannuksia.

Hankinnat ovat jäsenelty laitteistoihin ja kuluviin käyttötarvikkeisiin. Kulutvat käyttötarvikkeet ovat muunnettu kappalehintoihin, jonka jälkeen ne oli kerrottu koko koejakson perusteella kaikille näytteenottokerroille ja analyysikerroille. Näin saatiin selville tarkempia lukuja koko koejakson ajalta ja yhdeltä näytteenotto- tai analyysikerralta.

Järjestelmän rakennusosiossa eriteltiin kertamittausmenetelmästä kaikki näytteenotossa tarvittavat välineet kappalehintoina ja koko koejakson ajalta. Jatkuvatomisessa menetelmässä eriteltiin laitteiston hinta ja sen kiinnittämiseen tarvittavat välineet. Jatkuvatomisessa mittausmenetelmässä eriteltiin lisäksi anturilaitteiston määrittelyyn ja sen asennukseen kuluneet työtunnit.

Näytteenoton vaatiman ajan osiossa on keskitytty vain kertamittausmenetelmään, koska jatkuvatomisella menetelmällä aikaa ei kulu ylimääräistä, eikä siitä synny erillisiä kuluja. Kertamittausten näytteenoton vaatima aika on eritelty siitä, kauanko aikaa kuluu näytepullojen valmisteleminen niiden säilöntään asti. Tämän välille aikaa kuluu muun muassa koekentälle matkaamiseen ja varsinaiseen näytteenottoon.

Analysointi osiossa keskitytään jälleen vain kertamittausmenetelmään, jossa kuluja on eritelty analyysihin tarvittaviin tarvikkeisiin ja varsinaisiin analysointiprosesseihin kuluvaan aikaan. Analysointi kohtaan oli myös eritelty analysointiprosesseihin tarvittava laitteisto, jolla nähdään jokaisen analyysin kokonaiskulut laitteistoihin. Karanojan varsinaisissa

suodatinkokeissa analyysihin tarvittava laitteisto oli kuitenkin valmiina jätevesilaboratoriossa. Mikäli analyysihin tarvittavaa laitteisto olisi ollut tarpeen hankkia, olisi se merkittävä tieto vertailun kokonaiskuvassa.

Tulokset osiossa eritellään kertamittausten analyysien tulosten kirjaamista analyysilaitteistosta Excel-taulukoon oikeaan muotoonsa, jolloin sitä voidaan hyödyntää ja lukea. Excel-taulukossa suoritetaan tarvittavat korjauslaskelmat. Jatkuvatoimisessa menetelmässä tulokset menevät suoraan pilvipalveluun, jossa data on valmiina luettavassa muodossa.

Kun kaikista osioista oli saatu tuloksia, ne koottiin taulukoihin omalle välilehdellensä. Aikaerittelylle oli tehty oma taulukko, josta tulokset ovat selkeästi luettavissa. Taulukossa oli kummankin menetelmän aikaerittelyt yhdeltä näytteenotto sykliltä ja koko koejakson ajalta. Karanojan suodatinkokeiden tapahtuneet tulokset ovat eritelty osio kerrallaan taulukkoon, johon on kirjattu tarvikkeet ja käytetty anturilaitteisto, sekä niihin kulunut aika euroina kokonaisuudessaan. Taulukot osioon oli tehty myös useampi taulukko eri kustannusrakenteista, kuten esimerkiksi taulukko, johon on kirjattu kertamittauksissa tarvittava analyysilaitteisto ja laajempia anturihankintoja. Näin ollen voidaan vertailla Kertamittauksen, sekä jatkuvatoimisen mittauksen kustannusrakenteita ja tehdä niiden pohjalta johtopäätöksiä menetelmien kannattavuuden suhteen.

5 Tulokset

Kuvassa 6 kertamittausmenetelmän näytteiden analysointiin tarvittavan laitteiston ollessa valmiina, ylimääräisiä laitehankintoja ei vaadita. Sen seurauksena näytteiden analysoinnista syntyvä kuluerä pysyy maltillisena. Kertamittausmenetelmän näytteenottojärjestelmän rakennuksessa kuluja syntyy siihen tarvittavasta välineistöstä. Näytteenotossa kustannukset syntyvät siihen kuluvasta ajasta. Näytteiden analysoinnissa ja siihen kuluvasta ajasta syntyy isoin kustannus. Raportoinnissa kustannukset syntyvät siihen käytetyistä työtunneista.

Jatkuvatoimisessa menetelmässä ei synny kuluja näytteenotossa, analysoinnissa tai raportoinnissa, koska rakennettu anturijärjestelmä käsittelee dataa älykkäästi ja käsittelee

sen automaattisesti esitettävään muotoon. Jatkuvatoimisen menetelmän iso ja ainoa kuluerä syntyy anturilaitteiston hankinnasta ja anturijärjestelmän kokoonpanosta ja asennuksesta.

Kuva 6. Taulukkokuva kaikista kustannuksista (Aleksi Heinilä, 2022).

Selite	Kertamittaus	Jatkuvatoiminen
Järjestelmän rakennus	180 €	5 490 €
Näytteenotto	518 €	0 €
Analysointi	5 902 €	0 €
Raportointi	247 €	0 €
Yhteensä	6 846 €	5 490 €

Kuvassa 7 kertamittausmenetelmässä syntyy huomattavasti enemmän työtunteja verrattuna jatkuvatoimiseen mittausmenetelmään. Ero työtunneissa selittyy sillä, että jatkuvatoimisen mittausmenetelmän anturilaitteisto on itsenäinen järjestelmä, kun kertamittausmenetelmässä datantuotto tehdään käsin fyysisillä näytteillä.

Järjestelmän rakentamiseen ei kulu ylimääräistä aikaa, koska näytteenotto on otettu huomioon koejärjestelyjen suunnitteluvaiheessa. Kertamittausmenetelmässä aikaa kuluu näytteenotossa, koska se vaatii fyysisiä toimenpiteitä koekentällä. Kuluva aika muodostuu näytteenottoon vaadittavista valmisteluista, matka-ajasta, varsinaisten näytteiden ottamisesta ja näytteiden säilönnästä. Kertamittausnäytteiden analysoinnissa ja raportoinnissa kuluva aika muodostuu jokaisen suoritettavan analyysiprosessin vaatimasta ajasta ja tulosten kirjaamisesta.

Jatkuvatoimisessa datantuottomenetelmässä aikaa kuluu vain datantuottojärjestelmän rakentamisessa, kun muulloin se toimii itsenäisesti. Huomioon ei ole otettu anturilaitteiston huoltotoimenpiteisiin kuluva aikaa, koska se tapahtuu koejärjestelyjen huoltotöiden lomassa.

Kuva 7. Taulukkokuva aikaerittely (Aleksi Heinilä, 2021).

Selite	Kertamittaus	Aika h	Jatkuvatoiminen	Aika h
Järjestelmän rakennus	0 €	0	272 €	16
Näytteenotto	18 €	1,05	0 €	0
Analysointi	189 €	11,11	0 €	0
Raportointi	9 €	0,5	0 €	0
Yhteensä	215 €	12,7	272 €	16
Koejakso yhteensä	6 241 €	367,1	272 €	16

Kuvassa 8 vertailurakenteiden muuten ollessa samat, mutta mikäli kertamittausmenetelmän näytteiden analyseissä käytettävä laitteisto olisi hankittava erikseen, niin koko kertamittausmenetelmän kustannukset nousevat runsaasti. Runsaan nousun kertamittausmenetelmän kustannuksissa aiheuttaa hintava laitteisto.

Keskittymällä jatkuvatoimiseen mittausmenetelmään ja laajentamalla mitattavat määreet vastaaviksi kuin kertamittauksessa jatkuvatoimisen menetelmän kokonaiskustannukset nousevat huomattavasti anturihankintojen seurauksena. Kuitenkin jatkuvatoimisen mittausmenetelmän kustannukset olisivat merkittävästi pienemmät kuin kertamittausmenetelmässä.

Kuva 8. Taulukkokuva kustannuksista analyysilaitteistolla ja laajemmalla anturilaitteistolla (Aleksi Heinilä, 2021).

Selite	Kertamittaus	Jatkuvatoiminen
Järjestelmän rakennus	180 €	19 866 €
Näytteenotto	518 €	0 €
Analysointi	32 258 €	0 €
Raportointi	247 €	0 €
Yhteensä	33 202 €	19 866 €

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tulosten perusteella voidaan todeta, että kertamittauksiin perustuva datantuottomenetelmä on aikaa vievää ja kallista, jos näytteiden analysointiin tarvittavaa laitteistoa ei ole.

Jatkuvatoimisessa datantuottomenetelmässä taas aikaa ei kulu muuhun, kun datantuottojärjestelmän rakentamiseen ja anturien määrittämiseen, sen sijaan anturien ja niiden keskusyksikköjen hinnat voivat olla suhteellisen kalliita. Jatkuvatoimisessa mittausmenetelmässä on suositeltavaa vertailla erilaisia antureita ominaisuuksiineen ja hintoineen, jolloin saavutettaisiin paras mahdollinen hinta-laatusuhde, joka kattaisi kaikki tarvittavat mittaamisen ja datantuoton tarpeet. Oman jatkuvatoimisen mittausjärjestelmän rakentaminen voisi olla myös varteenotettava vaihtoehto, jolla säästää laitehankinnoissa. Oman järjestelmän rakennus vaatii laajemmalla alueella tietotaitoa ja ymmärrystä laitteistosta, myös sen rakentaminen vaatisi enemmän aikaa, joka lisää kustannuksia. Omatekoisessa jatkuvatoimisen mittausmenetelmän rakentamisessa voisi mahdollisuuksien mukaan hyödyntää aihealueeseen perehtyneitä opiskelijoita, jolloin voitaisiin säästää kustannuksista.

Karanojan suodinkokeissa olisi suositeltavaa panostaa kertamittauksiin perustuvassa datantuottomenetelmässä, koska siihen tarvittavat puitteet ovat valmiina. Jatkuvatoimisen menetelmän antureista saatava hyöty on rajallista, koska anturit mittaavat vaan muutamaa määrettä. Kertamittausmenetelmässä myös analyysien tulokset ovat tarkempia kuin jatkuvatoimisella menetelmällä. Jatkuvatoimista mittausmenetelmää kannattaa hyödyntää, kun halutaan tarkkailla nopeita muutoksia. Se toimii myös kertamittauksiin perustuvan menetelmän tukena, jolloin sillä voidaan vähentää laboratorioanalyysien määrää. Jatkuvatoimisen datantuottomenetelmää hyödyntäessä on myös omat riskinsä mm. ilkvallan, sääolosuhteiden ja virtaratkaisujen suhteen, sillä kalliita laitteistoja säilytettiin ulkona. Vaikka kertamittauksiin perustuvassa mittausmenetelmässä syntyy enemmän työtunteja, on se silti kannattavaa, koska koekentällä on tärkeää käydä, tasaisin väliajoin tarkistamassa koekentän tila mahdollisten ongelmatilanteiden varalta, jolloin samalla on mahdollista ottaa näytteet ja tehdä nopeita kenttämittauksia.

Jatkuvatoimiseen datantuottomenetelmään kannattaisi panostaa silloin, kun kertamittauksiin perustuvan menetelmän vaadittavaa analyysilaitteistoa ei ole saatavilla. Jatkuvatoimisen datantuottomenetelmän vahvuuksia on ehdottomasti se, että varsinaiseen datan tuottoon ei mene ylimääräistä aikaa, jolloin aikaa voi hyödyntää tehokkaammin työskentelyssä.

Lähteet

HAMK. (n.d.-a). *Hamk Bio*. <https://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-bio/>

HAMK. (n.d.-b). *Työpaketit* [Kuva]. <https://www.hamk.fi/projektit/hulvattu/#tyopaketit>

Hämäläinen, H. (2013). *Jäteveden kemiallinen hapenkulutus: Menetelmän siirto ja validointi* [opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60371/Hamalainen_Heini.pdf?sequence=1

Libelium. (n.d.). *Smart Water Sensor Guide*. Haettu 16.11.2022 osoitteesta

https://development.libelium.com/smart_water_sensor_guide/sensors

Metropolia. (7.5.2015). *Introduction to pH sensors*.

<https://wiki.metropolia.fi/display/sensor/Introduction+to+pH+sensors>

Mutanen, J. (2016). *Veden laadun tutkiminen*. Biotieteiden opetuksen keskus.

https://blogs.helsinki.fi/biopop-keskus/files/2017/08/veden_laatu.pdf

Oravainen, R. (11.11.1999). *Vesistötulosten opasvihkonen*. Kokemäenjoen vesistön

vesiensuojeluyhdistys ry. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>

Pesälä, T. (2016). *Kokonaistypen määrittymenetelmän validointi kiinteistä*

ympäristönäytteistä [opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105504/Pesala_Teemu.pdf;jsessionid=E54E189159652809163CEE68EF25FC8A?sequence=1

Sáez-Plaza, P., Navas, M. J., Wybraniec, S., Michałowski, T., & Asuero, A. G. (23.7.2013). An Overview of the Kjeldahl Method of Nitrogen Determination. Part II. Sample Preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43(4), 224-272. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751787>

Solunetti. (n.d.). *Spektrofotometri*.

<https://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/spektrofotometri/>

Sumerlab (20.2.2020). *Introduction To the Principle And Application Of General Components Of Spectrophotometer*. <https://www.sumerinstrument.com/news/introduction-to-the-principle-and-application-31732998.html>

<https://www.sumerinstrument.com/news/introduction-to-the-principle-and-application-31732998.html>

Syke. (30.1.2017). *Vedenlaadun seuranta*. Suomen ympäristökeskus

<https://www.ymparisto.fi/fi->

[fi/vesi/vesistöjen_kunnostus/Pienvesien_kunnostus/Pienvesien_kunnostamisen_toteutukse](https://www.ymparisto.fi/fi-)
[n_ja_sen_vaikutusten_seuraaminen/Vedenlaadun_seuranta](https://www.ymparisto.fi/fi-)

Utmel. (20.6.2022). *What is Conductivity Sensor?*

<https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/what-is-conductivity-sensor>

Wilson, J. (2005). *Sensor Technology Handbook*. Newnes.