Opinnäytetyö AMK

Prosessi- ja materiaalitekniikka

2022

Anniina Halonen

TYPPI- JA FOSFORIKUORMIEN KARTOITUS JÄTEVESIVIRROISTA

– UPM

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Prosessi- ja materiaalitekniikka

2022 | 48 sivua

Anniina Halonen

Typpi- ja fosforikuormien kartoitus jätevesivirroista

- UPM

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa UPM Tervasaaren tehdasalueella vuokralla olevien yritysten jätevesivirtojen typpi- ja fosforimäärät. Määrät kartoitettiin kuukauden kestävällä näytteenottojaksolla, jossa selvitettiin typen ja fosforin eri jakeiden pitoisuudet vuokralaisten jätevesissä. Pitoisuuksien avulla saatiin laskettua vuorokausikohtaiset ravinnekuormat biologiselle puhdistuslaitokselle. Vuokralaisten vuorokausikohtaiset ravinnekuormat voidaan jatkossa ottaa paremmin huomioon puhdistuslaitoksen lisäravinteiden syötössä, millä saadaan vähennettyä ravinnepäästöjä sekä lisäravinteista koituvia kemikaalikustannuksia.

Opinnäytetyössä laadittiin myös edustavan näytteenoton ohjeistus. Edustavalla näytteenotolla saadaan varmistettua näytteistä saadun datan todenmukaisuus, jolloin näytteiden perusteella voidaan tehdä luotettavia päätelmiä tutkittavan alueen ominaisuuksista ja laadusta. Tervasaaren tehdasalueelle on mahdollisesti tulossa kalankasvatuslaitos, joten opinnäytetyössä kartoitettiin myös kalankasvatuksen jätevesien typpi- ja fosforikuormat.

Asiasanat:

jätevedenpuhdistus, typpi, fosfori, edustava näyte

Bachelor’s Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Chemical and Materials Engineering

2022 | 48

Anniina Halonen

Survey of nitrogen and phosphorus loads in wastewater streams

- UPM

The purpose of this thesis was to survey the nitrogen and phosphorus loads in the wastewater streams of companies leased in the UPM Tervasaari mill area. The quantities were surveyed over a month-long sampling period to determine the concentrations of different fractions of nitrogen and phosphorus in the tenants' wastewater. The concentrations were used to calculate daily nutrient loads to the biological wastewater treatment plant. In future, the daily nutrient loads of tenants can be taken into account when dosing nutrient supplements, which will reduce wastewater treatment plant’s emissions and chemical costs.

Instructions for representative sampling were also composed in this thesis. Representative sampling ensures the accuracy of the data obtained from the samples, allowing reliable conclusions to be drawn about the characteristics and quality of the wanted area. A fish farming plant will possibly be set up in the Tervasaari mill area, so the nitrogen and phosphorus loads from fish farming wastewater were also determined in this thesis.

Keywords:

wastewater treatment, nitrogen, phosphorus, representative sample

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto **7**

1 Johdanto **8**

2 UPM **10**

3 Jätevesien koostumus **11**

4 Biologinen jätevedenpuhdistuslaitos **12**

4.1 Biologinen jätevedenpuhdistusprosessi 12

4.2 Biologiselle toiminnalle otollisimmat olosuhteet 14

5 Ravinteet jätevedenpuhdistuksessa **17**

5.1 Typpi, ammoniumtyppi, nitriitti ja nitraatti 17

5.1.1 Nitrifikaatio ja denitrifikaatio 18

5.2 Fosfori ja fosfaatti 19

6 Edustava näyte **20**

6.1 Näytteenoton suunnittelu 20

6.2 Kokoomanäyte 20

7 Käytännön tutkimus **22**

7.1 Edustavan näytteenoton ohjeistuksen laatiminen 22

7.2 Näytteenoton suunnittelu 22

7.3 Näytteenotto 23

7.3.1 Analyysit 25

8 Työn tulokset **26**

8.1 Näyte A 26

8.2 Näyte B 29

8.3 Näyte C 32

8.4 Puhdistetun veden typpi- ja fosforijakeet 33

8.4.1 Poikkeusolojen vaikutus puhdistustulokseen 35

8.5 Puhdistuslaitokselle tulevien ravinteiden määrät 36

8.6 Kalankasvatuslaitoksen jätevesien typpi- ja fosforikuormat 38

9 Loppupäätelmät 40

9.1 Virhetarkastelu 40

9.2 Jatkotutkimusideoita 42

Lähteet 43

Liitteet

Liite 1. Edustavan näytteenoton ohjeistus.

Kaavat

Kaava 1. Nitrifikaation ensimmäinen vaihe (Chhetri ym. 2022). 18

Kaava 2. Nitrifikaation toinen vaihe (Chhetri ym. 2022). 18

Kuvat

Kuva 1. Jätevedenpuhdistuslaitos (Tuulikki Moisio, UPM. Muokattu). 13

Kuva 2. Näytepullot (kuva: Anniina Halonen). 24

Kuviot

Kuvio 1. Näyte A:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet. 27

Kuvio 2. Nitriittitypen pitoisuus näytteessä A. 27

Kuvio 3. Nitraattitypen pitoisuus näytteessä A. 28

Kuvio 4. Näyte A:n fosforin eri jakeiden pitoisuudet. 28

Kuvio 5. Näyte B:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet. 29

Kuvio 6. Näyte B:n nitriitti- ja nitraattipitoisuudet. 30

Kuvio 7. Näyte B:n ammoniumtyppipitoisuus. 30

Kuvio 8. Näyte B:n kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet. 31
Kuvio 9. Näyte C:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet. 32
Kuvio 10. Näyte C:n ammoniumtyppipitoisuus. 33
Kuvio 11. Puhdistetun veden kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuudet. 34
Kuvio 12. Kokonaistypen pitoisuus puhdistetussa vedessä maaliskuussa 2022 ja joulukuussa 2021. 35
Kuvio 13. Kokonaisfosforin pitoisuus puhdistetussa vedessä maaliskuussa 2022 ja joulukuussa 2021. 36

Taulukot

Taulukko 1. Näyte C:n fosforin eri jakeiden pitoisuudet. 32
Taulukko 2. Puhdistetun veden typen eri jakeet. 34
Taulukko 3. Puhdistuslaitokselle vuorokaudessa tulevat ravinnekuormat grammoina. 38
Taulukko 4. Kalankasvatuslaitoksen vuorokausittaiset ravinnekuormat puhdistuslaitokselle kilogrammoina. 39

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

BOD	Biologinen hapenkulutus (Biochemical Oxygen Demand) (RIL 124-2-2004, 181)
COD	Kemiallinen hapenkulutus (Chemical Oxygen Demand) (RIL 124-2-2004, 181)
F:M	Ravinteiden ja mikro-organismien suhde (Food-to-microorganism ratio) (Driscoll ym. 2008, 428)
SRT	Kiintoaineen retentioaika (Solids Retention Time) (Driscoll ym. 2008, 432)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on kartoittaa UPM Tervasaaren tehdasalueella vuokralla olevien yritysten jätevesien typpi- ja fosforikuormat.

Typpi ja fosfori ovat tärkeitä ravinteita kaikelle elolliselle, sillä ne toimivat muun muassa DNA:n ja solukalvon rakennusaineina. Vaikka typpi ja fosfori ovat elintärkeitä ravinteita, niitä löytyy niukasti luonnossa sellaisessa muodossa, jota eläimet ja kasvit pystyvät hyödyntämään. Typen ja fosforin niukkuuden vuoksi kasvien kasvu hidastuu tai pysähtyy kokonaan, mikä tekee niistä minimitekijöitä. Jos typpeä tai fosforia kuitenkin annettaisiin kasveille lisää, niiden kasvu jatkuisi. Teollisuuden myötä vesistöihin huuhtoutuu ylimääriä ravinteita, jolloin kasvien kasvu ei rajoitu ja kasvit alkavat kasvaa eksponentiaalisesti. Tästä seuraa vesistöjen rehevöityminen ja äärimmäisessä tapauksessa happikatoa.

Tehokkaalla ja hyvin suunnitellulla jätevedenpuhdistuksella voidaan vähentää ravinteiden pääsyä vesistöihin ja näin suojella luonnon monimuotoisuutta. Haasteena biologisessa puhdistuksessa on ravinteiden oikea annostelu, sillä typpeä ja fosforia voi tulla useasta eri jätevesilähteestä, ja jätevesien laatu voi vaihdella päivittäin. Biologisessa puhdistuksessa tapahtuvat muutokset näkyvät usein vasta muutaman päivän kuluttua, minkä vuoksi puhdistusprosessin muutoksiin reagointi on hidasta. Reagoinnin hitaus nostaa ennakoinnin tärkeyttä entisestään.

Paperiteollisuudessa syntyvä jätevesi on itsessään hyvin ravinneköyhää, minkä vuoksi jätevesiin on lisättävä lisäravinteita, jotta ilmastuksen bakteerit saisivat tarpeeksi ravinteita elintarpeisiinsa. Kartoittamalla vuokralaisten jätevesien typpi- ja fosforikuormat voidaan puhdistusprosessissa ottaa paremmin huomioon vuokralaisten jätevesien ravinteet ja näin ennakoida lisäravinteiden annostelun määrää.

Jätevesivirtojen typpi- ja fosforikuormien tutkiminen perustuu pelkästään näytteistä saatuun dataan, minkä vuoksi opinnäytetyöhön kuuluu edustavan näytteenoton ohjeistuksen laatiminen. Tervasaareen on mahdollisesti tulossa

kalankasvatuslaitos, joten opinnäytetyöhön kuuluu myös kalankasvatuksen jätevesien typpi- ja fosforikuormien selvittäminen.

Opinnäytetyö alkaa teoriakatsauksella biologisesta puhdistamosta, ravinteista ja edustavasta näytteenotosta, jonka jälkeen alkaa työn toteutuksen osio. Lopussa on tulosten tulkintaa sekä loppupäätelmät aiheesta.

Opinnäytetyössä on koodattu Tervasaaressa vuokralla olevien yritysten nimet sekä näytteenottokaivot anonymiteetin vuoksi.

2 UPM

UPM-Kymmene Oyj (lyhennettynä UPM) on suuri suomalainen metsäteollisuuden yritys, jonka tuotteita ovat erilaiset paperituotteet, sellu, vaneri, biopolttoaineet, tarralaminaatti sekä energia. Yhtiö perustettiin vuonna 1995, kun Yhtyneet paperitehtaat Oy ja Kymmene Oyj yhdistyivät. Vuonna 2021 UPM työllisti keskimäärin 17 512 henkilöä 27 eri maassa. (UPM 2022).

Tervasaaren paperitehdas on yksi UPM:n vanhimmista tehtaista, sillä se aloitti toimintansa Walkiakoski Ab:na jo 1870-luvulla (UPM Speciality Papers, n.d.). Nykyään Tervasaaressa toimii kaksi erikoispaperikonetta, voimalaitos, vesivoimalaitos, biologinen jätevedenpuhdistuslaitos sekä kolme vuokralaista. Vuonna 2020 Tervasaaren erikoispaperitehtaan tuotantokapasiteetti oli 300 000 tonnia vuodessa ja se työllisti 316 henkilöä (UPM 2020).

Tervasaaren biologinen puhdistamo puhdistaa kaikki tehdasalueelta tulevat jätevedet, ja puhdistettu vesi ohjataan takaisin vesistöihin. Osa puhdistuksessa syntyvästä biomassasta poltetaan energiaksi.

3 Jätevesien koostumus

Toimivan puhdistuslaitoksen edellytyksinä ovat tuntemus jätevesien koostumuksesta ja veden sisältämien epäpuhtauksien poistamisesta. Myös jätevedenpuhdistuslaitoksen kustannustehokkuuden kannalta on tärkeää tietää jätevesien koostumukset, jotta prosessi saataisiin optimoitua mahdollisimman energiatehokkaaksi, ja kemikaalien käyttö voitaisiin minimoida.

Yleensä teollisuuden jätevedet sisältävät kemikaaleja ja kiintoainesta sekä orgaanista ja epäorgaanista ainetta. Kaikille näille epäpuhtauksille on oma puhdistusprosessinsa.

Paperiteollisuudesta tuleva jätevesi on yleensä hyvin ravinneköyhää. Sen vuoksi veteen lisätään typpeä ja fosforia lisäravinteeksi, jotta ilmastuksen bakteereilla olisi riittävästi ravinteita elintarpeisiinsa (UPM Pulp 2021). Typpeä lisätään prosessiin yleensä urean muodossa ja fosforia taas fosforihapon muodossa.

Teollisuuden jätevesienkäsittelyn haasteena on vesien määrän ja koostumuksen vaihtelu. Esimerkiksi seisakkipäivinä tehtaan jätevedet ja niiden määrät ovat hyvin erilaisia verrattuna normaaleihin tuotanto-olosuhteisiin. Eri lähteistä tulevat jätevesivirrat saattavat myös sisältää erityyppisiä epäpuhtauksia, joista osa voi olla toksisia. Toksiset yhdisteet saattavat vähentää ilmastuksen biologisia prosesseja tai jopa pysäyttää ne kokonaan, jolloin puhdistustulos huononee. (Driscoll ym. 2008, 432).

4 Biologinen jätevedenpuhdistuslaitos

Jäteveden biologisella käsittelyllä vedestä poistetaan bakteerien avulla liuenneita tai kolloidisina esiintyviä orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Päätarkoituksena on poistaa vedestä mahdollisimman paljon biologisia (BOD) ja kemiallisia (COD) happea kuluttavia yhdisteitä sekä typpeä ja fosforia, jotka vesistöihin päästyään aiheuttavat rehevöitymistä. (RIL 124-2-2004, 165). Biologinen puhdistuslaitos perustuu yleensä aktiivilietemenetelmään, jossa ilmastuksessa olevat bakteerit muuttavat orgaanista ja epäorgaanista ainetta lietteeksi (Kaasalainen 2015).

4.1 Biologinen jätevedenpuhdistusprosessi

Biologiseen jätevedenpuhdistukseen kuuluu niin fysikaalisia, kemiallisia kuin biologisiakin osuuksia. Kuva 1 on ilmakuva Tervasaaren jätevedenpuhdistuslaitoksesta, jonka eri osat on kuvassa numeroitu seuraavasti:

1. esiselkeytysallas,
2. tasaus-ja varoallas,
3. ilmastusallas,
4. jälkiselkeytysallas ja
5. biotiivistin.

Kuva 1. Jätevedenpuhdistuslaitos (Tuulikki Moisio, UPM. Muokattu).

Jätevedenpuhdistus alkaa välppäyksestä, jossa vedestä poistetaan mekaanisesti isoimmat roskat ja kiintoaineet pois. Välppäyksestä vesi johdetaan esiselkeytysaltaaseen, jossa jätevedestä poistetaan sellaista kiintoainesta, joka on liian pientä jäädäkseen pois välppäyksessä. Esiselkeytysaltaan toiminta perustuu gravitaatioon, eli kiintoaines vajoaa painovoiman vaikutuksesta altaan pohjalle, josta se haravoidaan pois ja vesi jatkaa matkaansa tasausaltaalle. (Kaasalainen 2015).

Tasaus- ja varoaltaiden tarkoituksena on tasata jäteveden koostumusta ja lämpötilaa. Vettä voidaan tarvittaessa myös jäähdyttää ja neutraloida, jotta veden pH saataisiin mahdollisimman lähelle neutraalia ja lämpötila biologisille prosesseille edulliseksi. (Kaasalainen 2015).

Tasausaltaasta vesi johdetaan ilmastukseen, joka on vedenpuhdistuksen kriittisin vaihe, sillä siinä käytetään elävää bakteerimassaa puhdistuksen apuna. Ilmastusaltaassa veteen sekoitetaan bakteerimassaa eli aktiivilietettä, joka koostuu pääasiassa elävistä, kuolleista ja lepovaiheessa olevista bakteereista,

mutta siellä on myös muita organismeja kuten alkueläimiä ja matoja. Nämä organismit hajottavat ja hapettavat veden BOD- ja COD-kuormaa tehden niistä lietettä. (RIL 124-2-2004, 165). Aktiiviliete tarvitsee toimiakseen ravinteita, joita ei paperiteollisuuden ravinneköyhissä vesissä ole tarpeeksi. Sen takia veteen lisätään ravinteiksi typpeä ja fosforia ennen ilmastusta, jotta bakteereilla olisi tarpeeksi ravinteita aineenvaihduntaansa ja muita biologisia tarpeitansa varten. Jotta biologinen puhdistamo toimisi, on tiedettävä mikro-organismien ravintovaatimukset sekä niiden aineenvaihdunnan edellyttämä hapen määrä. (RIL 124-2-2004, 169). Aktiivilietteelle sopivat aerobiset olosuhteet varmistetaan puhaltamalla jatkuvalla syötöllä ilmaa altaan pohjasta, jolloin veteen liukenee happea. Syötetystä ilmasta johtuva veden jatkuva liike myös parantaa bakteerien ja epäpuhtauksien välistä kontaktia sekä estää bakteerimassan vajoamisen altaan pohjalle. (Kaasalainen 2015).

Ilmastusaltaan jälkeen vesi siirtyy viimeiseen vaiheeseen eli jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeytysaltaassa bakteerien muodostama liete vajoaa altaan pohjalle, josta se poistetaan haravoimalla. Poistetusta lietteestä osa johdetaan takaisin ilmastukseen ja osa kuivataan biotiivistimellä ruuvipuristinta käyttäen, jonka jälkeen kuivattu liete voidaan muun muassa polttaa energiaksi. (Kaasalainen 2015).

4.2 Biologiselle toiminnalle otollisimmat olosuhteet

Moni asia vaikuttaa biologisen puhdistamon optimaaliseen toimintaan, minkä vuoksi puhdistuslaitoksesta ulos tulevat typpi- ja fosforikuormat vaihtelevat. Koska biologinen puhdistus perustuu biologisiin toimintoihin, se on herkkä olosuhdemuutoksille.

Yksi kriittisimmistä vaiheista puhdistuksessa ovat ravinteet sekä niiden säätely, sillä bakteerit eivät pysty hajottamaan veden epäpuhtauksia, jos ne eivät saa tarpeeksi ravinteita. Yleensä jätevesi sisältää tarpeeksi mikroravinteita, mutta makroravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joudutaan joskus lisäämään

prosessiin. Yleinen typen (N) ja fosforin (P) lisäämissuhde BOD:N:P on 100:5:1, eli kun on 100 osaa happea kuluttavia orgaanisia yhdisteitä, siihen lisätään 5 osaa typpeä ja 1 osa fosforia. (Driscoll ym. 2008, 430-431). Tarkka BOD:N:P-suhde määritetään kuitenkin erikseen puhdistettavalle jätevedelle sen koostumuksesta riippuen.

Ravinteiden lisäksi toinen toiminnalle tärkeä olosuhdetekijä on veden happipitoisuus. Jos happipitoisuus on liian alhainen, bakteerien toiminta heikkenee tai pahimmassa tapauksessa se johtaa bakteerien kuolemaan. Liian korkea happipitoisuus taas ei haittaa bakteereita, mutta se nostaa ilmastuksen kustannuksia. Yleinen happipitoisuus ilmastusaltaassa on noin 2 mg O_2/l. (Kaasalainen 2015).

Biologiselle toiminnalle tärkeitä suureita ovat myös lämpötila sekä pH. Liian matalassa lämpötilassa bakteerien toiminta hidastuu tai lakkaa kokonaan, kun taas liian korkeassa lämpötilassa bakteerit kuolevat. (Mäkelä ym. 1992, 169-170). Ideaalinen lämpötila aktiivilieteprosessissa on 15–40 °C (Kaasalainen, 2015). Lämpötilan lisäksi bakteerit ovat tarkkoja pH:sta. pH:n tulisi olla 7±1, sillä useimmat bakteerit eivät kestä alle 4:n tai yli 9:n pH:ta (RIL 124-2-2004, 171).

Kiintoaineen retentioaika (Solids Retention Time, SRT) on yksi biologisen puhdistuksen tärkeimmistä muuttujista. Tämän luvun avulla kuvataan, kuinka kauan vesi pysyy ilmastuksessa ennen jälkiselkeytykseen siirtymistä. Retentioaika vaikuttaa moniin puhdistuslaitoksen parametreihin, kuten ravinteiden ja mikro-organismien väliseen suhteeseen (food-to-microorganism ratio, F:M), jäteveden BOD-pitoisuuteen, lietteen muodostumiseen sekä bakteerien määrään jälkiselkeytyksessä. Esimerkiksi jos SRT ilmastuksessa on alle 2 päivää, prosessin bakteerit ovat eksponentiaalisen kasvun vaiheessa, jolloin F:M suhde on korkea (>1). Silloin prosessissa syntyy paljon lietettä ja selkeytin voi menettää paljon bakteereita lietteen huonojen laskeutumisominaisuuksien vuoksi. Jos SRT on taas kymmenestä kahteenkymmeneen päivään, prosessin bakteerit ovat endogeenisessa vaiheessa, jolloin F:M-suhde on alhainen, prosessi tuottaa vähemmän lietettä ja lietteen laskeutumisominaisuudet ovat erinomaiset. Pidempi SRT tulee

kuitenkin kalliimmaksi ilmastuksesta johtuvien kulujen takia. (Driscoll ym. 2008, 432-433).

Aktiivilietteen koostumus vaikuttaa myös siihen, miten puhdistuslaitos kestää häiriötekijöitä ja kuinka hyvin se puhdistaa veden epäpuhtauksia. Jos bakteerikanta koostuu vain tietystä bakteerilajista, se kestää huonosti olosuhteiden muutoksia. Jos aktiiviliete taas koostuu useasta eri bakteerilajista sekä alkueläimestä, se kestää paremmin mahdolliset häiriötekijät sekä ympäristön poikkeustilat. (Driscoll ym. 2008, 429-430).

5 Ravinteet jätevedenpuhdistuksessa

Ravinteiden tärkein tehtävä biologisessa jätevedenpuhdistuksessa on pitää ilmastuksen bakteerikanta hengissä ja hyvinvoivana. Lisäravinteet myös parantavat puhdistuslaitoksen häiriönsietokykyä sekä puhdistustulosta (Kaasalainen 2015). Ravinteiden oikea annostelu on kuitenkin yksi isoimmista haasteista biologisella puhdistuslaitoksella, sillä teollisuuden jätevedet voivat vaihdella hyvinkin paljon, ja teollisuudessa on yleensä hyvin ravinneköyhiä vesiä.

Veden liian pieni ravinnepitoisuus lisää epätoivottujen bakteerien määrää ja huonontaa puhdistustulosta. Jos ravinteita on taas liian paljon, kemikaalikustannukset ja päästöt kasvavat, lietettä alkaa muodostua enemmän ja prosessissa alkaa kasvaa ei-haluttuja organismeja. (Yara n.d.).

5.1 Typpi, ammoniumtyppi, nitriitti ja nitraatti

Typpi (N) on elintärkeä alkuaine kaikelle elolliselle, sillä se toimii proteiinien ja nukleiinihappojen rakennusaineena. Luonnossa ja jätevesissä typpi esiintyy typpikaasun (N_2), nitriitin (NO_2^-), nitraatin (NO_3^-) ja ammoniumtypen (NH_4^+) muodossa (Driscoll ym. 2008, 373). Typpikaasu on luonnossa yleinen aine, esimerkiksi ilmakehästä 78 % on typpeä. Kasvit ja eläimet eivät kuitenkaan pysty hyödyntämään ilmakehän typpikaasua, mutta maaperässä olevat tietyt bakteerit pystyvät. Nämä bakteerit muuttavat ilmakehän typpikaasun typen muiksi muodoiksi, joita myös eläimet ja kasvit pystyvät hyödyntämään. (Bear ym. 2016, 5.4).

Typpi toimii luonnossa kasvua rajoittavana tekijänä, eli kasvien kasvu pysähtyy niukan typensaannin takia. Jos kasveille kuitenkin annettaisiin lisää typpeä, niiden kasvu jatkuisi. Esimerkiksi maatilojen ja jätevedenpuhdistuslaitosten huuhtoessa typpeä luonnon vesistöihin, typpi ei enää toimi kasvua rajoittavana tekijänä. Silloin kasvit alkavat kukoistaa ja kasvaa eksponentiaalisesti, mistä seuraa vesistöjen rehevöitymistä ja pahimmassa tapauksessa happikatoa.

Vesistöjen rehevöityminen ja happikato vievät useilta eri kalalajeilta sekä muilta vesieliöiltä elinympäristön, mikä johtaa niiden kuolemaan. Vesistöissä on tämän ilmiön kautta muodostunut ”dead zone” -alueita, jotka ovat hapettomia, saastuneita vesialueita. (Pearce 2018).

Typen eri muodoista nitraatti aiheuttaa eniten vesistöjen rehevöitymistä, sillä kasvit ja levät pystyvät hyödyntämään sitä parhaiten (Driscoll ym. 2008, 374).

5.1.1 Nitrifikaatio ja denitrifikaatio

Jäteveden typpi saattaa muuttaa muotoaan nitrifikaation ja denitrifikaation seurauksena, minkä vuoksi näytteiden säilytys pitää suunnitella etukäteen todenmukaisen datan takaamiseksi. Nitrifikaatio on kaksiosainen biologinen prosessi, jossa ammoniumia hapettava bakteeri hapettaa ammoniumtypen nitriitiksi, vetyioneiksi sekä vedeksi (kaava 1).

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$

Kaava 1. Nitrifikaation ensimmäinen vaihe (Chhetri ym. 2022).

Seuraavassa vaiheessa nitriittiä hapettavat bakteerit hapettavat nitriitin nitraatiksi, joka on nitrifikaatiossa typen viimeinen muoto (kaava 2).

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Kaava 2. Nitrifikaation toinen vaihe (Chhetri ym. 2022).

Täydellinen nitrifikaatio on tärkeää, sillä epätäydellinen prosessi voi johtaa myrkyllisen välituotteen eli nitriitin kertymiseen. (Chhetri ym. 2022).

Nitrifikaation jälkeen voi seurata denitrifikaatio, jolloin nitraatti muuttuu bakteerien toimesta takaisin typpikaasuksi, josta se palaa luonnon typen kiertoon (Skiba 2008, 866-871).

5.2 Fosfori ja fosfaatti

Luonnossa fosforia (P) on niukasti ja se yleensä esiintyy fosfaatti-ionina (PO_4^{3-}) (Bear ym. 2016, 5.4). Fosfori on typen lailla eliöille välttämätön alkuaine, sillä se toimii muun muassa solukalvon ja nukleiinihappojen rakennusaineena (YSI 2021, 9). Teollisuuden käyttöön fosforia louhitaan fosforikaivoksista, mutta sitä esiintyy luonnossa myös fosforipitoisissa kivissä, joista se liukenee sääolosuhteiden vaikutuksesta vesistöihin ja maaperään. Fosforia tulee luontoon myös tulivuoren vulkaanisen toiminnan seurauksena. (Bear ym. 2016, 5.4).

Fosfori on typen lailla minimitekijä luonnossa, eli sen niukkuus on kasvua rajoittava tekijä. Monet lannoitteet sisältävät paljon fosforia ja väärin käytettynä sitä päätyy pelloilta vesistöihin. (Bear ym. 2016, 5.4).

6 Edustava näyte

Edustavalla näytteellä tarkoitetaan näytettä, jonka perusteella voidaan tehdä luotettavia päätelmiä tutkitun alueen tilasta tai sen ominaisuuksista. Jotta saadaan edustava näyte, on näytteenotto suunniteltava huolellisesti etukäteen.

6.1 Näytteenoton suunnittelu

Näytteenottosuunnitelmalla varmistetaan näytteiden laadukkuus ja edustavuus. Ensiksi näytteenoton suunnittelussa on mietittävä, mihin käyttötarkoitukseen näyte tulee ja millä menetelmillä sitä analysoidaan. Sen perusteella voidaan määritellä näytteenottopaikka, näytteen koko sekä näytteen säilytys.

6.2 Kokoomanäyte

Kokoomanäyte on edustava näyte sellaisesta jätevedestä, jonka laatu tai määrä vaihtelee suuresti. Sen avulla saadaan tutkittua todenmukaisesti veden keskiarvoisia piirteitä ja ominaisuuksia halutulla aikavälillä. (Mäkelä ym. 1992, 59).

Kokoomanäyte koostuu useasta pistonäytteestä, jotka yhdistetään keskenään. Kun nämä useat pistonäytteet on yhdistetty yhdeksi isoksi näytteeksi ja sekoitettu huolellisesti keskenään, siitä otetaan laboratorioon menevä näyte.

Kokoomanäytteiden keräämisen taajuus voidaan valita joko virtauksen tai ajan perusteella. Virtauksen perusteella otettu näyte otetaan aina silloin, kun tietty määrä vettä on kulkenut näytteenottopisteen lävitse, esimerkiksi 10 m^3 välein otetaan 200 ml:n näyte. (Driscoll ym. 2008, 68). Ajan perusteella otettu näyte otetaan taas aina silloin, kun tietty aika on kulunut, esimerkiksi tunnin tai vuorokauden välein. Kokoomanäyte on mahdollista ottaa myös virtaukseen

suhteutettuna, jolloin sekä aika että virtaus vaikuttavat. Silloin näyte otetaan aina tietyn aikavälein suhteutettuna virtauksen määrään. (Mäkelä ym. 1992, 59). Esimerkiksi jos virtaus on maksimissaan 100 %, otetaan 1000 ml:n näyte virtauksesta, mutta jos virtaus on vain 80 %, otetaan 800 ml:n näyte.

Kokoomanäytteen haastavuutena on näytteiden säilyvyys. Jos näytteenottoväli on pitkä tai näytteitä halutaan kerätä pitkältä aikaväliltä, näyte saattaa pilaantua tai sen sisällä olevat yhdisteet muuttaa muotoaan, jolloin näyte ei ole enää edustava. (Driscoll ym. 2008, 68). Tästä johtuen kokoomanäytettä suunniteltaessa pitää myös suunnitella näytteiden mahdolliset säilöntätoimenpiteet, kuten näytteisiin lisättävät säilöntäaineet tai näytteiden pakastus.

7 Käytännön tutkimus

Opinnäytetyön käytännön osuuteen kuului edustavan näytteenoton ohjeistuksen laatiminen ja kuukauden kestävä näytteenotto. Näytteenoton tarkoituksena oli selvittää, missä muodossa typpi ja fosfori ovat Tervasaaressa vuokralla olevien yritysten jätevesissä. Tarkoituksena oli myös tutkia puhdistuslaitoksen vastetta näille typen ja fosforin eri jakeille, mutta puhdistuslaitoksen poikkeustilan vuoksi vasteen tutkiminen jouduttiin jättämään seuraavaa projektia varten.

Tervasaaren tehtaalle on mahdollisesti tulossa vuokralaiseksi kalankasvatuslaitos, joten käytännön osuuteen kuului myös selvittää kalankasvatuksen typpi- ja fosforimäärät, jotka tulisivat Tervasaaren puhdistuslaitokselle.

7.1 Edustavan näytteenoton ohjeistuksen laatiminen

Edustavan näytteenoton ohjeistuksen laatiminen aloitettiin laajalla teoriakatsauksella, jossa kartoitettiin erilaisia tapoja ja menetelmiä ottaa edustava näyte jätevedestä. Teoriakartoituksen jälkeen kirjattiin erilliseen Word-dokumenttiin yleinen ohjeistus edustavan näytteenoton suunnittelun avuksi. Ohjeistukseen kuului myös riskiarviolomake, joka tulee täyttää ennen näytteenottoa työturvallisuuden takaamiseksi. Edustavan näytteenoton ohjeistus on liitteenä 1.

7.2 Näytteenoton suunnittelu

Näytteenotto aloitettiin kartoittamalla, mistä näytteitä otetaan ja mihin näytteistä saatua dataa käytetään. Näytteenottopaikoiksi valikoitiin kolme jätevesikaivoa, joiden kautta vuokralaisten jätevedet johdetaan puhdistuslaitokselle. Myös

puhdistuslaitokselta ulos tulevasta puhdistetusta vedestä otettiin näytteitä vasteen tutkimista varten. Koska vastetta ei voitu tutkia, puhdistetusta vedestä saatua dataa verrattiin aikaan ennen poikkeusoloja, jotta poikkeusolojen vaikutusta puhdistustulokseen voitiin vertailla.

Edustavan näytteenoton ohjeistuksen perusteella tehtiin suunnitelma näytteenoton toteutuksesta käytännössä. Toimintamalliksi muodostui kerätä viikoittain kokoomanäyte. Kokoomanäytettä varten otettiin näyte viitenä päivänä viikossa, ja näyte lähetettiin ulkopuoliselle laboratoriolle analysoitavaksi.

Työturvallisuudesta käytännön osuudessa huolehdittiin käyttämällä asianmukaista suojavarustusta eli kypärää, suojatakkia, suojalaseja, turvakenkiä, suojakäsineitä sekä hengityssuojainta. Hengityssuojaimen tarkoitus oli koronaviruksen leviämisen estäminen sekä ilmastuksen bakteereilta suojautuminen.

7.3 Näytteenotto

Kolmesta jätevesikaivosta yhdessä oli automaattinen näytteenotin, joka otti aina 2,5 l näytettä jätevesikaivoon pumpatusta jätevesierästä. Tästä automaattisesta näytteenottimesta haettiin kerran viikossa litran näyte, joka edusti koko viikkoa.

Kahdesta muusta jätevesikaivosta näytteet otettiin manuaalisesti viisi kertaa viikossa, joka päivä samaan aikaan samasta kohdasta. Toista kaivoa kierrätettiin pumppujen avulla aina ennen näytteenottoa, jotta vesi olisi ollut mahdollisimman tasalaatuista. Toista kaivoa ei ollut mahdollista kierrättää, joten näyte otettiin seisovasta vedestä.

Puhdistuslaitokselta ulos tulevasta puhdistetusta vedestä otettiin myös näyte automaattisella näytteenottimella, jonka näytteenotto oli aikaan perustuva. Näyte haettiin viitenä päivänä viikossa sangosta, johon näytteenotin oli kerännyt näytettä vuorokauden mittaan.

Näytteiden keräämisen jälkeen pullot vietiin UPM:n laboratorioon, jossa niitä sekoitettiin kääntelemällä. Sekoituksen jälkeen jokaisesta näytepullosta otettiin 200 ml näytettä mittalasin avulla, minkä jälkeen mitatut näytteet kaadettiin virallisiin litran näytepulloihin (kuva 2). Saman näytteenottopisteen näytteet kaadettiin viisi kertaa viikossa aina samaan pulloon, jolloin viikossa saatiin kerättyä litran kokoomanäyte jokaisesta näytteenottopaikasta. Viralliset näytepullot laitettiin pakkaseen jokaisen näytteenoton jälkeen, millä varmistettiin näytteiden säilyvyys.

Oheisessa kuvassa 2 vasemmanpuoleinen pullo on näytteen keräämisessä käytetty pullo ja oikeanpuoleinen on virallinen kokoomanäytepullo.

Kuva 2. Näytepullot (kuva: Anniina Halonen).

Aina maanantai aamuisin edellisen viikon kokoomanäytteet lähetettiin KVVY:n laboratorioon tutkittaviksi. Ennen näytteiden lähettämistä laboratorioon näytteitä sulatettiin vesihauteessa. Laboratorio tutki näytteistä kokonaistypen ja -fosforin,

ammoniumtypen, nitraatin, nitriitin, fosfaatin sekä liukoisen typen ja fosforin pitoisuudet.

7.3.1 Analyysit

Kaikki näytteet tutkittiin akkreditoiduilla tutkimusmenetelmillä, paitsi näyte A:n ammoniumtyppi. Tutkimusta ei pystytty tekemään akkreditoidulla menetelmällä, vaan se jouduttiin suorittamaan vaihtoehtoisella menetelmällä matriisihäiriön vuoksi.

Liukoista typpeä ja fosforia tutkittaessa käytettiin 0,45 µl suodatinta ja kaikille näytteille tehtiin ICP-analytiikkaesikäsittely.

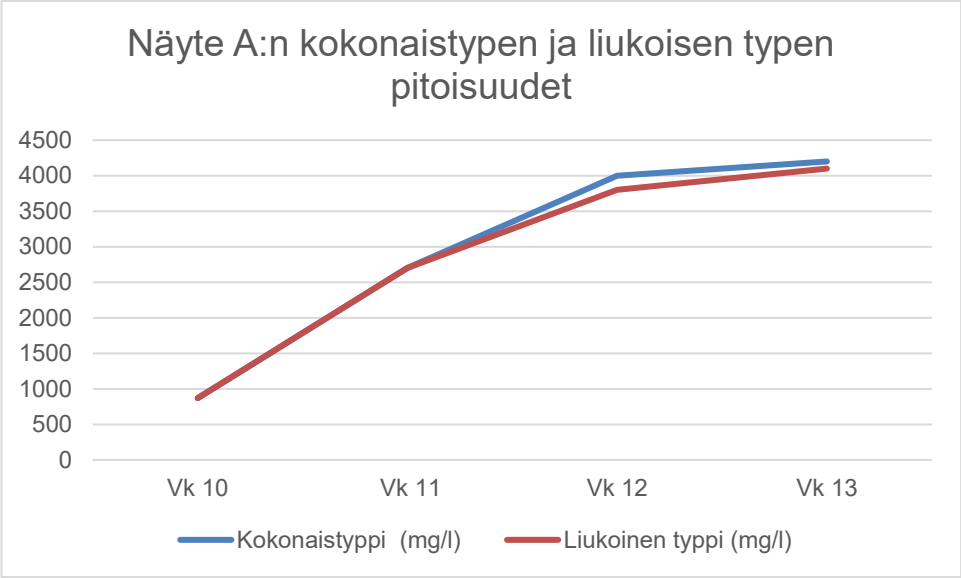
8 Työn tulokset

Työn tulokset -osiossa käydään läpi näytteistä saatua dataa ja käsitellään kalankasvatuslaitoksen typpi- ja fosforikuormia. Näytteenotto suoritettiin 7.3.-1.4.2022.

8.1 Näyte A

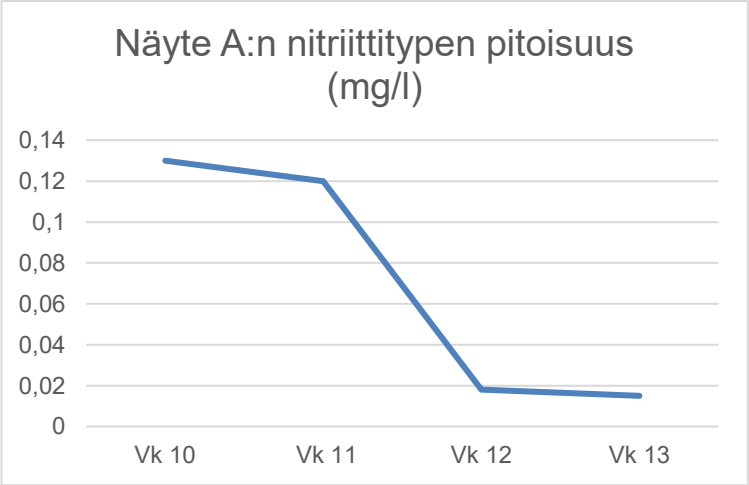
Näyte A oli pitoisuuksiltaan selkeästi muita näytteitä korkeampi. Näyte A aiheutti ammoniumtyppianalyyseissä matriisihäiriötä, minkä vuoksi kahtena ensimmäisenä viikkona ei saatu ollenkaan tuloksia ammoniumtyppipitoisuuksista, ja kaksi viimeistä viikkoa sisälsi vain suuntaa antavat lukemat. Nämä suuntaa antavat pitoisuudet olivat kuitenkin hyvin korkeita verrattuna muiden näytteiden ammoniumtyppipitoisuuksiin. Viikolla 12 ammoniumtypen pitoisuudeksi määritettiin 330 mg/l ja viikolla 13 pitoisuus oli 360 mg/l.

Näyte A:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet kasvoivat selvästi kuukauden seurannan aikana. Viikolla 10 kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuus oli 870 mg/l ja viikolla 13 kokonaistypen pitoisuus oli 4200 mg/l ja liukoisen 4100 mg/l (kts. kuvio 1).

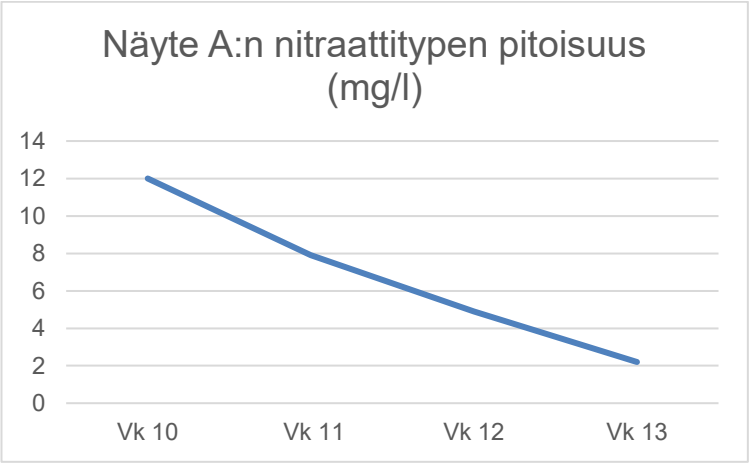


Kuvio 1. Näyte A:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet.

Toisin kuin kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet, nitriitin ja nitraatin pitoisuudet laskivat (kts. kuviot 2 ja 3).

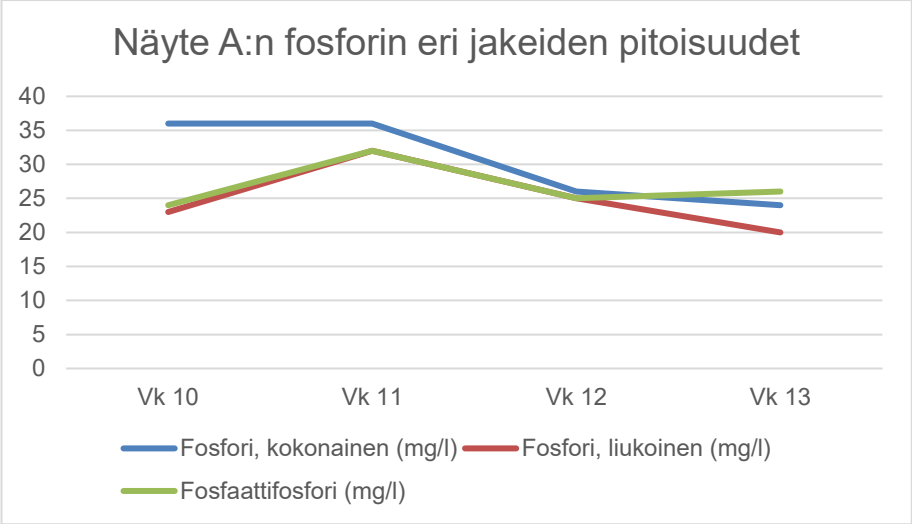


Kuvio 2. Nitriittitypen pitoisuus näytteessä A.



Kuvio 3. Nitraattitypen pitoisuus näytteessä A.

Näyte A:n fosforipitoisuuksissa oli suhteellisen paljon vaihtelua näytteenottokuukauden aikana, etenkin viikko 11 oli selkeästi muita viikkoja kuormittuneempi (kts. kuvio 4).

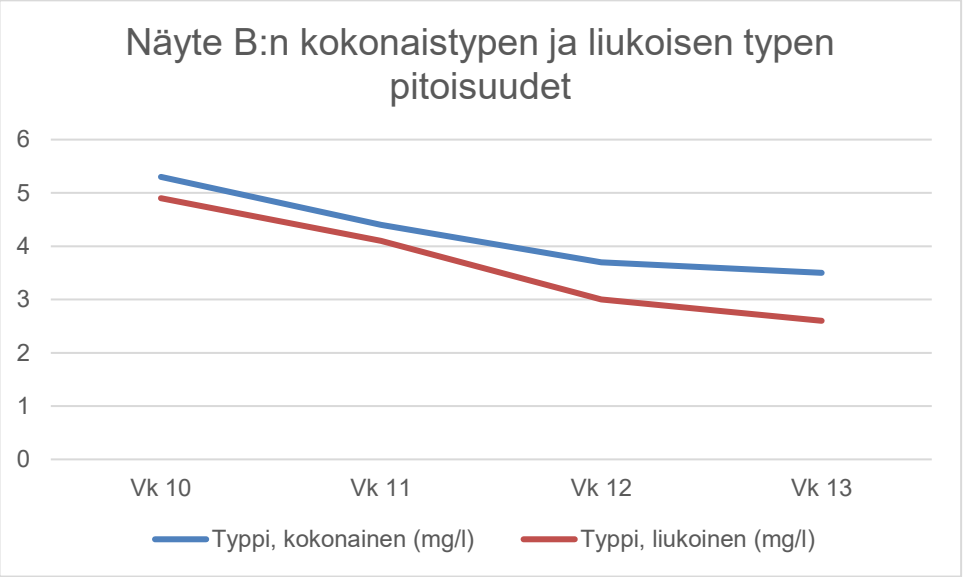


Kuvio 4. Näyte A:n fosforin eri jakeiden pitoisuudet.

Kuviosta 4 huomataan, että liukoisen fosforin ja fosfaattifosforin pitoisuudet olivat viikkoina 10-12 samalla tasolla, mutta viikolla 13 näiden välillä tulee isompi ero, kun fosfaattifosforin pitoisuus alkaa kasvaan.

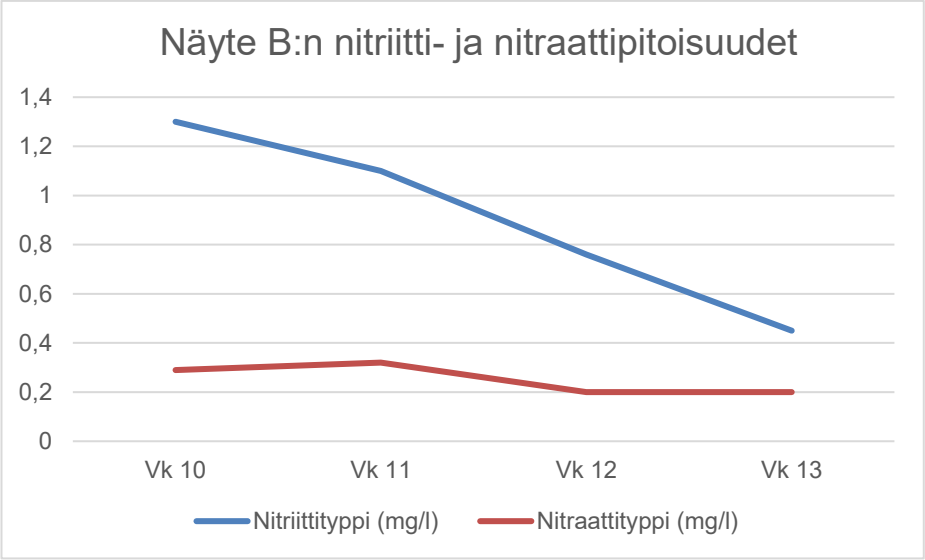
8.2 Näyte B

Näyte B:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet laskivat hieman kuukauden aikana (kts. kuvio 5).



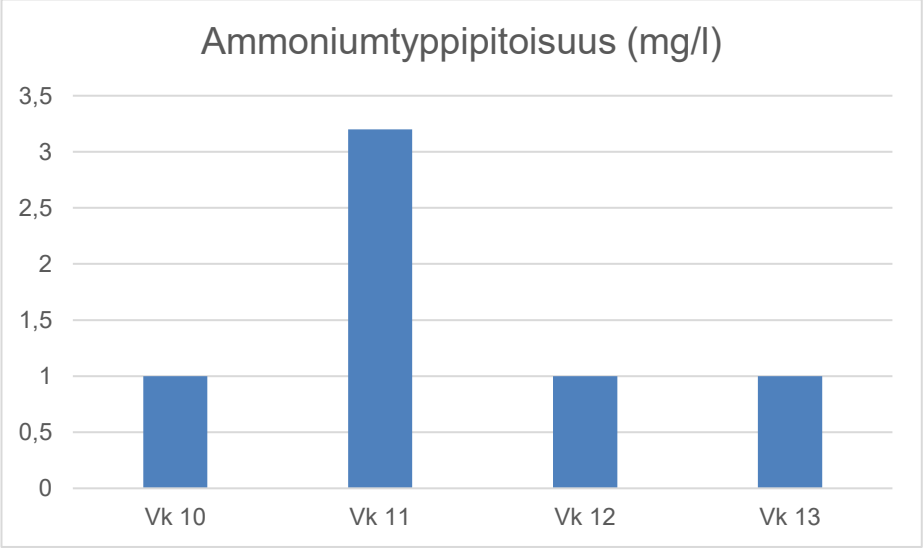
Kuvio 5. Näyte B:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet.

Näyte A:n tapaan myös näyte B:n nitriitti- ja nitraattipitoisuudet laskivat näytteenottoviikkojen kuluessa.



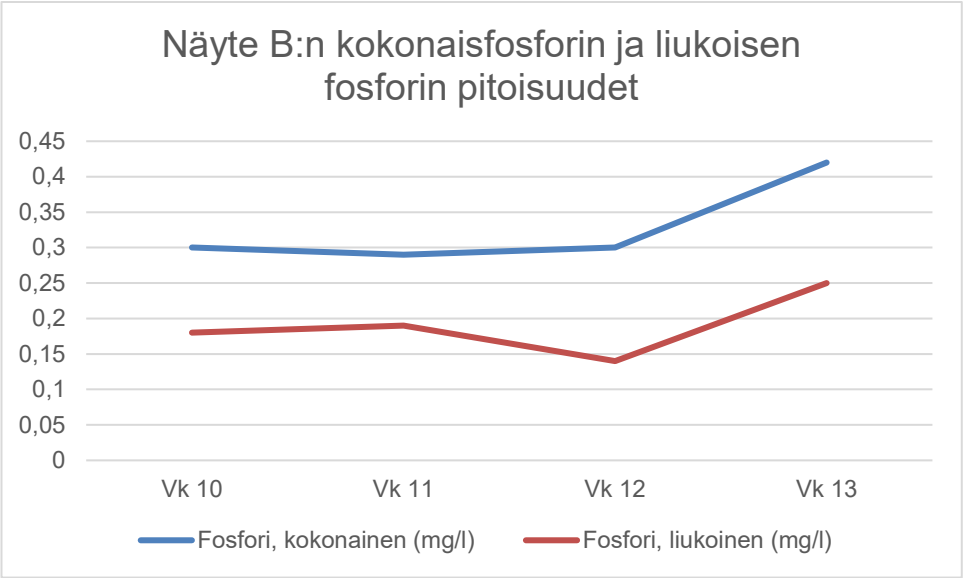
Kuvio 6. Näyte B:n nitriitti- ja nitraattipitoisuudet.

Näyte B:n ammoniumtyppipitoisuudet olivat hyvin tasaisia, mutta viikolla 11 pitoisuuksissa oli piikki (kts. kuvio 7). Piikki saattaa johtua näytteen kontaminoitumisesta tai analyysivirheestä, sillä muina viikkoina pitoisuudet pysyivät samoina.



Kuvio 7. Näyte B:n ammoniumtyppipitoisuus.

Näytteen kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet pysyivät lähes samana ensimmäiset kaksi viikkoa, jonka jälkeen seurasi pieni pitoisuuksien pieneneminen viikolla 12 ja isompi kasvu viikolla 13 (kts kuvio 8).



Kuvio 8. Näyte B:n kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet.

Fosfaattifosforin pitoisuus kasvoi samassa suhteessa kuin kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet, mutta viikon 12 lukema poikkesi hyvin paljon muista. Viikolla 12 mitattu fosfaattifosforin pitoisuus oli poikkeuksellisen korkea eli 8,9 mg/l, kun taas viikolla 13 mittaustulos oli jälleen alhaisempi, 0,19mg/l. Tämä johtuu mahdollisesti analyysivirheestä tai näytteen kontaminoitumisesta.

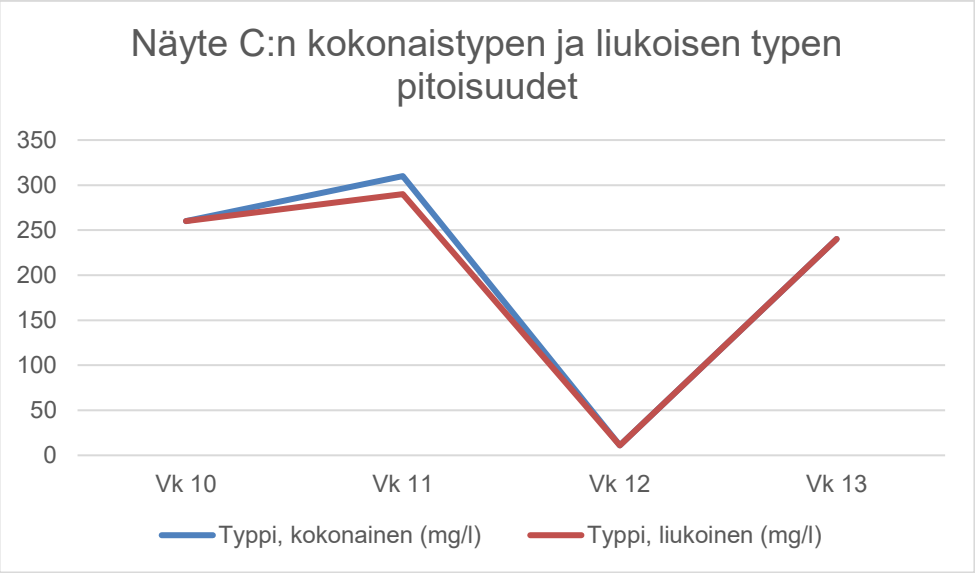
8.3 Näyte C

Näyte C:n kokonaisen ja liukoisen fosforin pitoisuudet eivät juurikaan vaihdelleet näytteenottojaksolla. Viikolla 12 näytteen fosfaattifosforipitoisuus kuitenkin nousi 2 µg/l:sta 9500 µg/l:aan. Nousu johtuu todennäköisesti analyysivirheestä tai näytteen kontaminoitumisesta.

Taulukko 1. Näyte C:n fosforin eri jakeiden pitoisuudet.

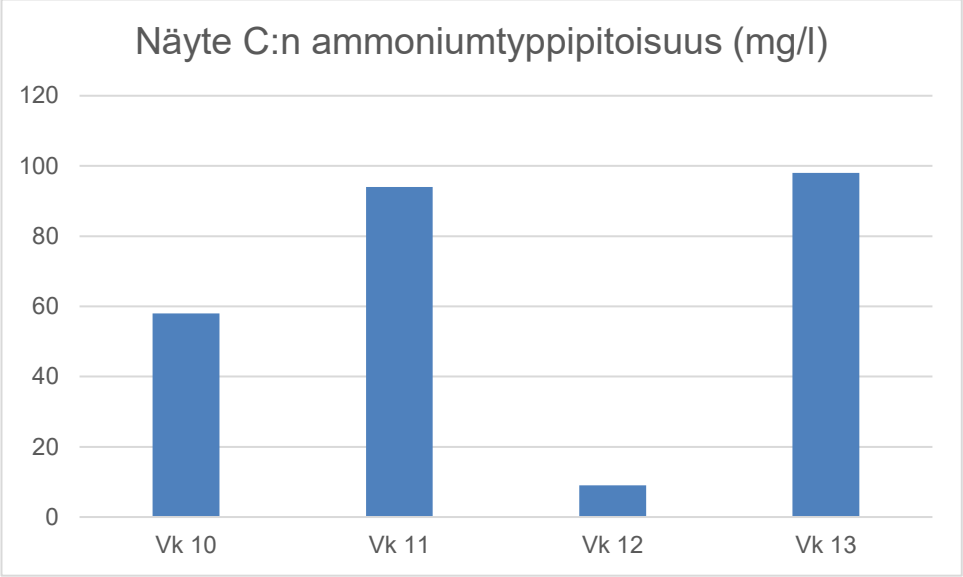
Näyte C	Vk 10	Vk 11	Vk 12	Vk 13
Fosfori, kokonainen (µg/l)	20	20	20	20
Fosfori, liukoinen (µg/l)	12	10	10	10
Fosfaattifosfori (µg/l)	5	2	9500	5

Näyte C:n typpipitoisuuksissa oli isoja eroja viikkojen välillä. Kokonaistypen pitoisuus nousi hieman viikon 10 ja 11 välillä, jonka jälkeen viikolla 12 pitoisuuteen tuli jyrkkä lasku. Viikolla 13 kokonaistypen pitoisuus oli kuitenkin taas lähtenyt nousuun (kts. kuvio 9).



Kuvio 9. Näyte C:n kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuudet.

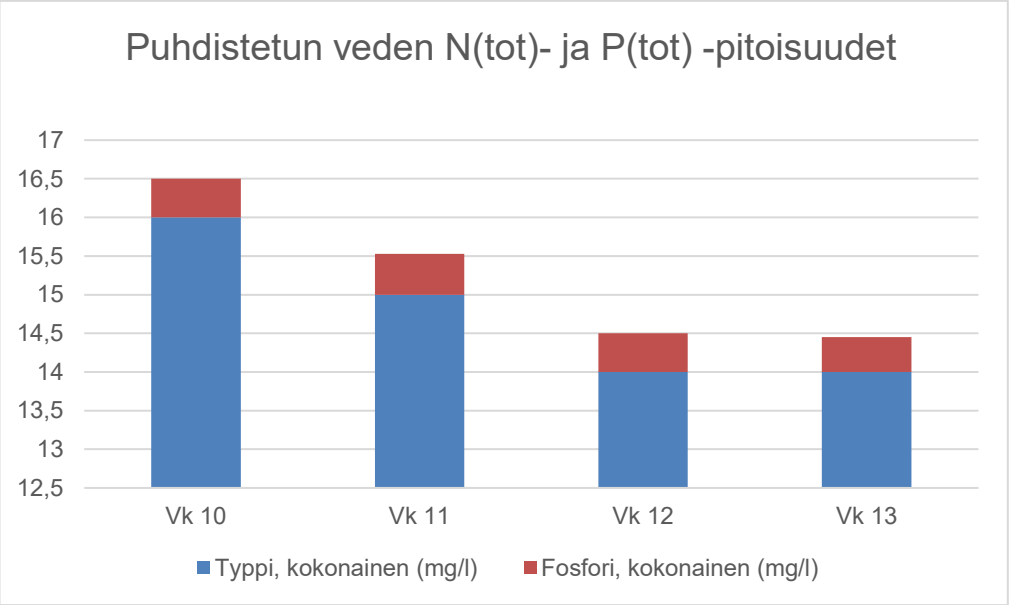
Näyte C:n nitriitti- ja nitraattipitoisuudet pysyivät muuttumattomina, vaikka kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuuksissa oli vaihtelua. Nitriitin pitoisuus oli koko näytteenoton ajan 15 µg/l ja nitraatin 200 µg/l. Eniten vaihtelua oli ammoniumtypen pitoisuuksissa, jotka vaihtelivat 9 mg/l ja 98 mg/l välillä (kts. kuvio 10).



Kuvio 10. Näyte C:n ammoniumtyppipitoisuus.

8.4 Puhdistetun veden typpi- ja fosforijakeet

Puhdistetun veden kokonaistypen pitoisuus laski hieman näytteenoton aikana, mutta kokonaisfosforin pitoisuus pysyi suhteellisen samana kuukauden ajan (kts. kuvio 11). Kuvaajasta nähdään myös typpi- ja fosforipäästöjen suhteiden ero puhdistetun veden koostumuksessa.



Kuvio 11. Puhdistetun veden kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuudet.

Puhdistetun veden ammoniumtyppi- , nitriitti- ja nitraattipitoisuudet pysyivät lähes samoina koko näytteenoton ajan. Selkeästi suurimmat pitoisuudet olivat nitraatilla ja matalimmat nitriitillä (kts. taulukko 2).

Taulukko 2. Puhdistetun veden typen eri jakeet.

Puhdistettu vesi	Vk 10	Vk 11	Vk 12	Vk 13
Ammoniumtyppi (mg/l)	1	1,1	1	1
Nitriitti (mg/l)	0,015	0,015	0,015	0,015
Nitraatti (mg/l)	14	14	14	14

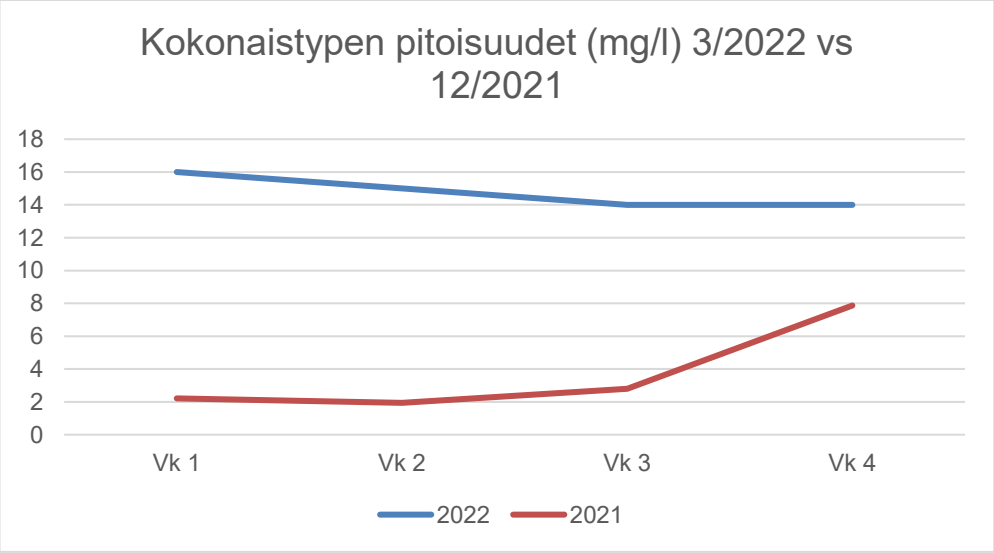
Nitraatti on nitrifikaation viimeinen vaihe, joten nitraatin korkea pitoisuus muihin jakeisiin verrattuna saattaa johtua typen hapettumisesta.

8.4.1 Poikkeusolojen vaikutus puhdistustulokseen

Puhdistuslaitoksen poikkeustila on selkeästi vaikuttanut laitoksen puhdistustulokseen.

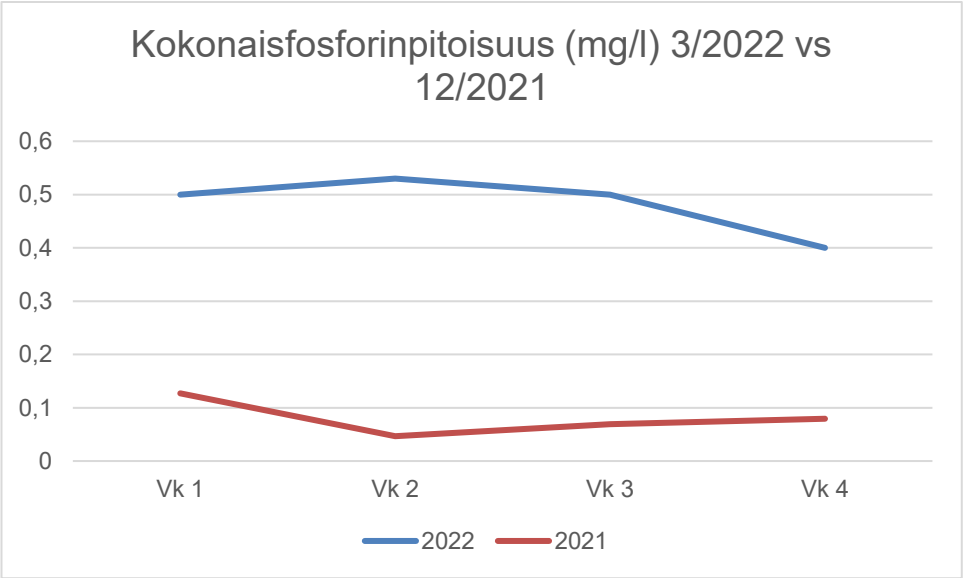
Kuviossa 12 vuoden 2021 data perustuu UPM:ltä saatuun dataan, jossa oli puhdistamolta lähtevän veden kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuudet jokaiselta päivältä vuodelta 2021. Kuvaajaan on valittu vuoden 2021 viikkojen 48-51 pitoisuudet, sillä se on tuorein data ennen poikkeusoloja. Viikon pitoisuuksien arvo on sen viikon pitoisuuksien keskiarvo. Kuvaajassa punaisen viivan viikko 1 siis tarkoittaa vuoden 2021 viikkoa 48 ja viikko 4 tarkoittaa vuoden 2021 viikkoa 51. Sinisen viivan viikolla 1 taas tarkoitetaan vuoden 2022 viikkoa 10 ja viikolla 4 tarkoitetaan vuoden 2022 viikkoa 13. Näytteiden data siis perustuu suurinpiirtein joulukuuhun 2021 ja maaliskuuhun 2022.

Kuvaajasta on huomattavissa selkeä ero joulukuun 2021 ja maaliskuun 2022 välillä. Loppuvuonna 2021 typen pitoisuudet olivat noin 2-4 mg/l, paitsi viikolla 51 (kuvaajassa viikko neljä eli neljäs näyteviikko), kun typpipitoisuus nousi 7,87 mg/l:aan (kts. kuvio 12).



Kuvio 12. Kokonaistypen pitoisuus puhdistetussa vedessä maaliskuussa 2022 ja joulukuussa 2021.

Typen lailla myös kokonaisfosforin pitoisuus oli korkeampi poikkeusolojen aikaan kuin ennen poikkeusoloja. Fosforin pitoisuus lähti kuitenkin laskuun viikolla 11 (kuviossa viikolla 3) (kts. kuvio 13).



Kuvio 13. Kokonaisfosforin pitoisuus puhdistetussa vedessä maaliskuussa 2022 ja joulukuussa 2021.

Pitoisuuksien kasvu poikkeusolojen aikaan johtui puhdistettavan veden äkkinäisestä vähenemisestä, jolloin ilmastuksen aktiiviliete muuttui, mikä johti puhdistustuloksen heikkenemiseen.

8.5 Puhdistuslaitokselle tulevien ravinteiden määrät

Analyyseistä saadun datan perusteella laskettiin puhdistuslaitokselle päivittäin tulevien ravinteiden eli typen ja fosforin määrät kilogrammoina. Määrät laskettiin sekä keskiarvoisella pitoisuudella että maksimipitoisuudella. Laskujen

volyymina käytettiin vuokralaisten vuosittaisia jätevesimääriä, jotka oli ilmoitettu kuutioina.

Ensiksi laskettiin näyte A:n kokonaistyppikuorma puhdistuslaitokselle vuorokaudessa:

Laskut aloitettiin laskemalla kaivon A vuorokausittaiset jätevesilitrat puhdistuslaitokselle.

$$H_2O_{(a)} = 550{,}3118\ m^3 = 550311{,}8\ l$$

$$H_2O_{(d)} \frac{550311{,}8\ l}{365} = 1507{,}7\ l$$

Kun vuorokausittainen litramäärä saatiin laskettua, laskettiin kuukauden näytteenoton korkeimman pitoisuuden avulla typen maksimimäärä puhdistuslaitokselle vuorokaudessa.

$$m = C\ \cdot V = 4{,}2 \frac{g}{l} \cdot 1507{,}7\ l = 6332{,}3\ g$$

$$= \mathbf{6340\ g}$$

Samalla kaavalla laskettiin myös keskiarvoinen kuormitus kuukauden pitoisuuksien keskiarvolla. Sama toistettiin myös muille näytteille. Taulukossa 3 olevat lukemat ovat kaikki pyöristetty 10 g:n tarkkuudella ylöspäin.

Taulukko 3. Puhdistuslaitokselle vuorokaudessa tulevat ravinnekuormat grammoina.

Ravinteet (g/d)	Näyte A	Näyte B	Näyte C	Yhteensä
Kokonaistyppi, maksimi	6340	10	470	6820
Kokonaistyppi, keskiarvoinen	4440	10	310	4760
Kokonaisfosfori, maksimi	60	>10	>10	60
Kokonaisfosfori, keskiarvoinen	50	>10	>10	50

Taulukosta 3 voi havaita, että eniten ravinnekuormia tulee kaivosta A, josta näyte A on otettu. Toiseksi eniten tulee kaivosta C ja selkeästi vähiten kuormitusta tulee kaivosta B. Fosforipitoisuus kaikissa jätevesikaivoissa on vähäinen, mutta selkeästi isoin kaivossa A.

8.6 Kalankasvatuslaitoksen jätevesien typpi- ja fosforikuormat

Tervasaareen mahdollisesti tuleva kalanviljelylaitos toimii Recirculating Aquaculture System (RAS) -tekniikalla. Siinä vesiviljelyjärjestelmän viljelyvettä puhdistetaan ja käytetään jatkuvasti uudestaan, minkä ansiosta viljelylaitoksen vesienkierto on lähes kokonaan suljettu piiri. Tällaisella lähes suljetulla vesipiirillä saadaan säästettyä huomattavat määrät energiaa ja minimoitua veden kulutusta. (Aquaculture ID, n.d).

Taulukossa 4 olevat arvot perustuvat kalankasvatuslaitoksen antamiin tietoihin ravinnekuormista. Taulukossa on huomioitu sekä 300 000 kg:n että 500 000

kg:n kasvatusvolyymi. Taulukossa olevalla maksimiarvolla tarkoitetaan poikkeustilannetta, jolloin ravinnekuormat ovat poikkeuksellisen korkealla. Keskiarvoisella määrällä taas tarkoitetaan normaaleja ravinnekuormia vuorokaudessa.

Taulukko 4. Kalankasvatuslaitoksen vuorokausittaiset ravinnekuormat puhdistuslaitokselle kilogrammoina.

Kalankasvatuslaitoksen ravinnekuormat (kg/d)	300 000 kg:n kasvatus	500 000 kg:n kasvatus
Kokonaistyppi, maksimi	36	60
Kokonaistyppi, keskiarvoinen	30	50
Kokonaisfosfori, maksimi	11	18
Kokonaisfosfori, keskiarvoinen	9	15

Verrattaessa kalankasvatuslaitoksen ravinnemääriä Tervasaaren tämänhetkisten vuokralaisten ravinnemääriin voidaan huomata, että kalankasvatuksen jätevedet kuormittaisivat huomattavasti enemmän puhdistuslaitosta.

9 Loppupäätelmät

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Tervasaaren vuokralaisten jätevesivirtojen typpi- ja fosforikuormat. Kuukauden mittaisen näytteenottojakson tuloksena jätevesivirtojen typpi- ja fosforijakeet saatiin kartoitettua ja pitoisuudet selvitettyä. Saatujen pitoisuuksien avulla voitiin laskea puhdistuslaitokselle vuorokaudessa tulevien ravinteiden määrät kilogrammoina.

Ravinnepitoiset vedet ovat hyväksi puhdistuslaitokselle, sillä ne vähentävät kemikaalikustannuksia ja kierrätetyt ravinteet ovat myös ekologisempi vaihtoehto teollisten ravinteiden tilalle. Jos ravinteita alkaa kuitenkin tulla liikaa puhdistuslaitokselle, ilmastuksen aktiiviliete ei enää riitä poistamaan ravinteita, jolloin prosessiin pitää lisätä kokonaan uusi puhdistusvaihe ravinteiden poistamiseksi vedestä. Liialliset ravinnemäärät lisäävät myös puhdistuslaitoksen päästöjä, mikä edistää vesistöjen rehevöitymistä. Kun tiedetään vuokralaisten jätevesien tarkat ravinnemäärät, voidaan niiden syöttöä puhdistuslaitokselle suunnitella siten, että ravinteet saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman hyvin.

Jätevedenpuhdistamolle tehtiin myös edustavan näytteenoton ohjeistus, jonka pohjalta saatiin suunniteltua näytteenotto ja jota voidaan myös tulevaisuudessa käyttää näytteenoton suunnittelun tukena.

Opinnäytetyön aikana puhdistuslaitoksella vallinnut poikkeustila vaikutti opinnäytetyön aiheeseen ja tuloksiin. Aluksi tarkoituksena oli tutkia puhdistuslaitoksen vastetta eri typpi- ja fosforijakeille, mutta vasteen tutkiminen korvattiin vertailemalla puhdistustuloksen eroa vuoden 2021 joulukuun ja vuoden 2022 maaliskuun välillä.

9.1 Virhetarkastelu

Kun tutkimustyötä tehtiin, vedenpuhdistuslaitokselle tuli poikkeuksellisen pienet kuormat puhdistettavaa vettä, mikä heikensi puhdistuslaitoksen toimintaa.

Pienistä vesimääristä ja poikkeusoloista johtuen ilmastuksen bakteerikanta muuttui, minkä seurauksena puhdistuslaitoksen typpi- ja fosforipäästöt olivat poikkeuksellisen korkeat.

Näyte A:n ammoniumtyppeä ei saatu viikoilla 10 ja 11 ollenkaan määritettyä analyyseissä ilmenneen matriisihäiriön vuoksi. Häiriön syytä ei tarkalleen tiedetä, eikä sitä saatu selvitettyä, mutta muut typen ja fosforin jakeet saatiin tutkittua näytteestä A. Viikoilla 12 ja 13 näytteen A ammoniumtyppi mitattiin ei-akkreditoidulla menetelmällä, jolloin ammoniumtypen analyysitulokset olivat vain suuntaa antavia analyyseissä ilmenneen häiriön vuoksi.

Tulokset olisivat luotettavampia, jos tutkittava aikaväli olisi ollut pidempi, esimerkiksi kaksi kuukautta. Näytteiden vertailukelpoisuutta olisi lisännyt se, että kaikista näytteenottopaikoista oltaisiin otettu samalla tavalla näytteet. Esimerkiksi jos kaikissa näytteenottopaikoissa olisi ollut automaattiset näytteenottimet, jotka olisivat kerännyt näytettä samalla tavalla.

Liukoisia komponentteja tutkiessa pitäisi näyte aina suodattaa heti näytteenoton jälkeen, mutta tässä työssä näyte suodatettiin vasta KVVY:n laboratoriossa. Suodatuksen myöhäisen ajankohdan vuoksi liukoisien komponenttien pitoisuudet saattavat poiketa todellisesta pitoisuudesta.

Suodatuksen lisäksi myös näytteiden sulatuksella oli väärä ajankohta. Näytteiden sisällä on saattanut tapahtua kemiallisten yhdisteiden muutoksia matkalla KVVY:n laboratorioon tutkittavaksi. Edustavampi tapa olisi ollut lähettää jäiset näytteet laboratorioon, jossa näytteet oltaisiin voitu heti tutkia sulatuksen jälkeen.

Näyte B otettiin seisovasta vedestä, mikä saattoi vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Kaivossa ei ollut sekoitusmahdollisuutta tai pumppua, jolla vettä oltaisiin voitu kierrättää kaivossa ennen näytteenottoa. Tästä johtuen näyte otettiin seisovasta vedestä, joka oli saattanut kerrostua. Kaivosta ei vaikean sijainnin ja saavutettavuuden takia voinut ottaa näytteitä eri kohdista tai eri syvyyksistä, joten näytteet otettiin aina samasta kohtaa samalta syvyydeltä.

9.2 Jatkotutkimusideoita

Seuraavassa vaiheessa on tarpeellista tutkia puhdistuslaitoksen vastetta, kun puhdistuslaitos on taas normaalissa tilassa. Silloin näytteenottopaikaksi voitaisiin lisätä myös esiselkeyttimeen tuleva vesivirta, jotta saataisiin selville puhdistuslaitokselle tulevan kokonaisjätevesivirran tarkka koostumus.

Jatkotutkimuksessa voitaisiin myös ottaa huomioon, missä muodossa typpi ja fosfori ovat lisäravinteissa ja mahdollisesti tehdä typpitasekaavio koko jätevedenpuhdistusprosessille. Typpitasetta tehtäessä voitaisiin myös tutkia, vaikuttaako ilmasta liukeneva typpi veden typpipitoisuuksiin puhdistusprosessissa.

Lähteet

Aquaculture ID n.d. Recirculating Aquaculture System. Viitattu 17.4.2022. https://www.aquacultureid.com/recirculating-aquaculture-system/

Bear, R., Rintoul, D., Snyder, B., Smith-Caldas, M., Herren, C., Horne, E. 2016. Principles of Biology. Open Access Textbooks. Manhattan: The Authors. Viitattu 2.3.2022. https://cnx.org/contents/24nI-KJ8@27.4:D-ygu4Ty@13/Biogeochemical-Cycles

Chhetri, R., Karvelas, S., Sanchez, D., Droumpali, A., Kokkoli, A., Andersen, H. 2022. A modified nitrification inhibition test for high-salinity wastewater. Chemical Engineering Journal, Volume 429. Viitattu 1.3.2022. https://www-sciencedirect-com.ezproxy.turkuamk.fi/science/article/pii/S1385894721040389

Driscoll, T., Barber, J., Chandran, K., Constable, S., Darnell, C., DiMenna, R., Gaines, B., Goodman, A., Hlavek, R., Johns, F., Jones, T., Kemp, G., Kim, B., Krill, W., Maillacheruvu, K., Millano, E., Nichols, C., Parham, G., Philbrook, D., Severin, B., Shamas, J., Shamskhorzani, R., Solvie, J., Venkatasubbiah, V., Wirtz, R., Wong-Chong, G., Yeh, B. & Young, J. 2008. Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal. Third Edition. Alexandria: Water Environment Federation.

Kaasalainen, Sami 2015. UPM Tervasaaren aktiivilietelaitoksen toiminta. Tampere: Action Experience Learning AEL. UPM Tervasaaren omia koulutusmateriaaleja.

Moisio, Tuulikki. Ilmakuva UPM Tervasaaren jätevedenpuhdistuslaitoksesta. Sähköposti. UPM. Vastaanotettu 23.2.2022.

Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. & Leppänen, T. 1992. Vesitutkimuksen näytteenottomenetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja B. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. Viitattu 26.1.2022. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/157222/Vesi-%20ja%20ymp%E4rist%F6hallinnon%20julkaisuja%20B%2010.pdf?sequence=4

Pearce, Fred 2018. Can the World Find Solutions to the Nitrogen Pollution Crisis?. Yale Environment 360. Viitattu 18.4.2022.

https://e360.yale.edu/features/can-the-world-find-solutions-to-the-nitrogen-pollution-crisis

RIL 124-2-2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Skiba, U. 2008. Denitrification. Encylopedia of Ecology. Viitattu 22.4.2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080454054002640#!

UPM 2022. Luomme biotalouteen perustuvaa tulevaisuutta. UPM:n tilinpäätöstiedote 2021. Helsinki: UPM. Viitattu 27.1.2022. https://www.upm.com/siteassets/asset/investors/2021/upm-tilinpaatostiedote-2021-fi.pdf

UPM Speciality Papers n. d. SPECIAL by Design, Remarkable BY NATURE. Viitattu 27.1.2022. https://www.upmspecialtypapers.com/about-upm-specialty-papers/

UPM 2020. UPM Tervasaari, Environmental and Societal Responsibility 2020. EMAS-raportti. Valkeakoski: UPM Tervasaari. Viitattu 27.1.2022. https://www.upm.com/siteassets/documents/responsibility/1-fundamentals/emas-reports/upm-pulp-and-paper-mills-report/english/tervasaari_emas_2020_en.pdf

UPM Pulp 2021. Biologinen jätevedenpuhdistus on monimutkainen ja herkkä prosessi. Paikallisuutinen. Viitattu 27.1.2022. https://www.upmpulp.com/fi/upm-kaukas/ajankohtaista/2021/6/biologinen-jatevedenpuhdistus-on-monimutkainen-ja-herkka-prosessi/

Yara n. d. Biological Wastewater Treatment – Nutrients. Viitattu 2.3.2022. https://www.yara.co.uk/chemical-and-environmental-solutions/wastewater-treatment/biological-wastewater-treatment-nutrients/

YSI 2021. Phosphorus in Wastewater. E-book XA00171. Yellow Springs: YSI, a Xylem brand. Viitattu 1.3.2022. https://www.ysi.com/File%20Library/Gated%20Documents/Phosphorus-in-Wastewater-e-book.pdf

Edustavan näytteenoton ohjeistus

Edustavan näytteenoton ohjeistus

Edustavalla näytteellä tarkoitetaan sellaista näytettä, joka on luotettava ja todenmukainen kuvaus tutkittavan kohteen laadusta ja ominaisuuksista. Sen perusteella voidaan tehdä tutkimuksia ja se soveltuu myös viranomaiskäyttöön. Tämän ohjeistuksen tarkoituksena on auttaa laatimaan edustavan näytteenoton suunnitelma, jonka perusteella näytteenotto voidaan suorittaa käytännössä.

Näytteenoton tarkoitus

Näytteenoton tärkein vaihe on määrittää, miksi näyte otetaan ja mihin näytteistä saatua dataa käytetään (Driscoll ym. 2008, 59). Näytteen tarkoitus voi olla esimerkiksi typen määritys jätevedestä tai kiintoaineen määrä ilmastusaltaassa. Dataa voidaan taas käyttää esimerkiksi puhdistuslaitoksen toiminnan tutkimiseen tai ajoparametrien optimointiin. Jos näytteenoton tarkoitusta ei määritetä, voivat tutkimustulokset olla käyttökelvottomia esimerkiksi liian pienen näytekoon tai väärästä paikasta otetun näytteen takia. Kun tarkoitus on määritetty, voidaan sen perusteella tehdä edustavan näytteenoton suunnitelma, joka vastaa näytteenoton tarkoitusta. Hyvin suunnitellun näytteenoton kautta saadaan näytteistä edustavia ja näytteenotto voidaan suorittaa kustannustehokkaasti, luotettavasti sekä turvallisesti.

Näytteenottopisteet

Näytteenottopisteet ovat kriittisiä näytteen edustavuuden kannalta, sillä ne määrittelevät pitkälti näytteen sisällön. Näytteenottopiste tulee valita aina siten, että se edustaisi tutkittavan kohteen ominaisuuksia ja piirteitä mahdollisimman todenmukaisesti. Esimerkiksi jos halutaan näyte virtaavasta vedestä, se tulisi ottaa päävirrasta, jossa virtaus on kova ja vesi hyvin sekoittunutta. (Driscoll ym. 2008, 71). Jos näytettä taas otetaan kaivosta, sen sisältöä olisi hyvä sekoittaa esimerkiksi pumppujen avulla ennen näytteenottoa, jotta vesi olisi mahdollisimman tasalaatuista kaivon eri syvyyksissä. Näytteenottopistettä valittaessa tulee myös huomioida työturvallisuus, jotta näyte voidaan ottaa turvallisesti.

Kokoomanäyte

Kokoomanäyte on edustavin tapa saada selville jäteveden keskimääräisiä piirteitä halutulla aikavälillä. Kokoomanäytteessä samasta näytteenottopisteestä otetaan useita osanäytteitä isoon näyteastiaan joko ajan tai virtauksen perusteella, jolloin saadaan keskiarvoinen tulos veden laadusta tutkitulla aikavälillä. Aikaan perustuvassa näytteenotossa voidaan ottaa esimerkiksi 100 ml näytettä joka tunti vuorokauden ajan. (Mäkelä ym. 1992, 59). Aikaan perustuva kokoomanäyte on silloin edustava, kun virtaus on tasainen tai vaihtelee alle 10 % (Driscoll ym. 2008, 68).

Virtaukseen perustuvat näytteet voidaan ottaa joko virtausperusteisesti tai aikaperusteisesti virtaukseen suhteutettuna. Virtausperusteiset näytteet voidaan ottaa esimerkiksi niin, että

aina kun 10 m^3 vettä virtaa näytteenottimen ohi, näytteenotin ottaa 100 ml näytettä. Aikaperusteisessa virtaukseen suhteutetussa näytteenotossa näytteen määrä on verrannollinen virtauksen suuruuteen, sillä se otetaan aina tietyin aikavälein. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että aina kun virtaus on pienempi, on näytteen kokokin pienempi. Jos virtaus on taas suurempi, myös näytteen koko on suurempi. (Driscoll ym. 2008, 68). Esimerkiksi jos virtaus on maksimissaan eli 100 %, otetaan 1000 ml:n näyte ja jos virtaus on 80 %, otetaan 800 ml:n näyte.

Ennen analysointia kokoomanäyte tulee sekoittaa huolellisesti, jotta näyteastiassa olevat osanäytteet ovat varmasti sekoittuneet keskenään ja näyte olisi tasalaatuinen.

Pistonäyte

Pistonäyte on hyvä tapa saada selville tietyn alueen ominaisuudet näytteenoton hetkellä. Esimerkiksi jos vedestä halutaan mitata jokin tietty parametri (kuten pH tai happipitoisuus), joka tulee testata heti näytteenoton jälkeen.

Laboratorio ja analyysit

Laboratorion kanssa sovitaan näytteiden toimitusajankohta, tarvittavan näytteen määrä sekä mahdolliset esikäsittelyt tai säilytysolosuhteet ennen näytteen toimittamista. Jos laboratorio sijaitsee kaukana näytteenottopisteestä, tulee myös näytteiden kuljetus sopia etukäteen.

Työturvallisuus näytteenotossa

Varsinkin jätevesien näytteenotossa työturvallisuuteen pitää kiinnittää erityisen paljon huomiota, sillä vesi voi sisältää esimerkiksi syövyttäviä, myrkyllisiä, voimakkaasti haihtuvia tai syöpää aiheuttavia kemikaaleja. Jätevedet saattavat sisältää myös tauteja aiheuttavia bakteereita.

Näytteenottopisteillä voi myös olla työturvallisuusriskejä, kuten hapettomia kohtia, putoamisvaaroja tai liukkaita lattioita. Jotta näytteenotto saadaan suoritettua turvallisesti, näytteenotosta on hyvä tehdä riskikartoitus. Riskikartoituksessa kirjataan työtapoihin ja työskentelypisteisiin liittyvät riskit, niiden ehkäisy ja riskeiltä suojautuminen. Riskienkartoitustaulukko on liitteenä 1.

Näytteenoton välineet ja näyteastiat

Näytteiden edustavuuden takaamiseksi näytteenottovälineiden ja näyteastioiden on oltava puhtaita ja sopivia kyseiselle näytteelle. Näyteastiat tulee merkitä selkeästi ennen näytteenoton aloitusta, jotta astiat eivät menisi sekaisin näytteitä ottaessa tai laboratorioon kuljetettaessa.

Anniina Halonen 2022

Näytteenoton kirjaaminen

Näytettä otettaessa kirjataan näytteenottopaikan tarkka sijainti, näytteenottoaika, näytteenottaja, näytteen tyyppi (pisto/kokoomanäyte), näytteenottometodi (automaattinen/manuaalinen) sekä mahdolliset havainnot ja poikkeamat näytteenottopaikassa ja/tai näytteessä. Näytteenottoastiaan ja näytteenottolomakkeeseen tulisi kirjata myös mahdolliset lisäaineet, esikäsittelyt ja vaaditut analyysit. (Driscoll ym. 2008, 72).

Näytteiden käsittely sekä säilyvyyden takaaminen

Näytteitä otettaessa ja käsiteltäessä tulee ehkäistä näytteiden kontaminoituminen eli saastuminen. Kontaminoitumisen ehkäisemiseksi näyteastioiden tulee olla puhtaita, niitä tulee käsitellä varovaisesti ja niiden korkit tulee sulkea mahdollisimman nopeasti näytteenoton jälkeen. Myös näytteenottimien on oltava puhtaita ja niiden materiaali sopiva näytteenotolle.

Jos vedestä halutaan määrittää mikrobeja, tulee näyteastiaan jättää selvä ilmatila hapen takaamiseksi. Myös voimakkaasti haihtuviin näytteisiin tulee jättää ilmatila, jotta näytteistä haihtuvat kaasut eivät kertyisi ilmatilaan aiheuttaen painetta. Jos vedestä taas halutaan määrittää kemikaaleihin liittyviä asioita, tulee näytepullo täyttää mahdollisimman täyteen, jotta näytteessä olevat kemialliset yhdisteet eivät hapettuisi.

Säilyvyyden takaamiseksi näytteitä tarvitsee joskus esikäsitellä. Esikäsittely voi olla esimerkiksi suodatus, lisäaineiden lisäys tai pakastus. Suodatuksessa tulee ottaa huomioon suodattimen oikea tiheys ja materiaali. Mahdollisista esikäsittelyistä tulee tehdä merkinnät näyteastioihin ja lähetteeseen, jotta laboratorio osaa varautua niihin.

Lähteet

Driscoll, T., Barber, J., Chandran, K., Constable, S., Darnell, C., DiMenna, R., Gaines, B., Goodman, A., Hlavek, R., Johns, F., Jones, T., Kemp, G., Kim, B., Krill, W., Maillacheruvu, K., Millano, E., Nichols, C., Parham, G., Philbrook, D., Severin, B., Shamas, J., Shamskhorzani, R., Solvie, J., Venkatasubbiah, V., Wirtz, R., Wong-Chong, G., Yeh, B. & Young, J. 2008. Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal. Third Edition. Alexandria: Water Environment Federation.

Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. & Leppänen, T. 1992. Vesitutkimuksen näytteenottomenetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja B. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. Viitattu 26.1.2022.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/157222/Vesi-%20ja%20ymp%E4rist%F6hallinnon%20julkaisuja%20B%2010.pdf?sequence=4

Anniina Halonen 2022

Liite 1. Esimerkki riskienkartoitustaulukosta.

Työtapa/työpiste	Huomio	Seuraukset	Ehkäisytoimet
Kaivo 2	Syövyttäviä kemikaaleja vedessä	Silmiin tai iholle joutuessaan syövyttää	Suojalasit, kemikaalisuojahanskat, suojavaatetus, suojakengät, KTT lukeminen (jos mahdollista), näytteenottimien ja näyteastioiden sopivuuden tarkastus, hätäsuihkun sijainnin kertaus
Ilmastusallas	Bakteereita vedessä	Bakteereista johtuva sairastuminen, joka on tullut bakteerien pääsystä silmiin/suuhun tai niitä hengittäessä	Hengityssuojain, suojalasit, suojahanskat, kasvojen koskemisen välttäminen, käsihygienia
Jyrkät ulkoportaat näytepisteen B luona	Talvella liukkaat	Liukastuminen, josta seuraa portaissa kaatuminen ja mahdollisia henkilövahinkoja	Lumitöiden teko ja hiekoitus, portaita pitkin kulkiessa pitää aina pitää kaiteesta kiinni ja seurata mihin astuu

Anniina Halonen 2022