

JÄTEVESILIETTEIDEN RAVINNETARKASTELU

Case: HS-Vesi, Paroisten puhdistamo ja Riihimäen Vesi, Riihimäen puhdistamo



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma, Hämeenlinnan
korkeakoulukeskus
Kevät 2022
Saara Järvi

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana Jätevesilietteiden ravinteet keskittäen kiertoon (Järkki) -hanketta. Hankkeen tavoitteena on määrittää sellainen jätevesilietteiden käsittelylaitoskokonaisuus ja toimintamalli, jossa lietteiden ravinteet saadaan kestävästi ja energiatehokkaasti hyödynnettyä. Hanketta koordinoi Gasum Oy, ja HAMKista mukana ovat HAMK Bio ja HAMK Smart tutkimusyksiköt. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin jätevesistä puhdistamolietteisiin päätyvien pääravinteiden (typpi ja fosfori) käyttäytymistä lietteenkäsittelyssä kahdella jätevedenpuhdistamolla. Tarkastelun kohteena oli hankkeen yhteistyökumppanien puhdistamot: HS-Vesi Paroisten puhdistamo ja Riihimäen Veden puhdistamo.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käytiin läpi jätevesilietteen synty puhdistusprosessissa ja jätevesilietteiden käsittelymenetelmiä. Kokeellisessa osuudessa analysoitiin jätevesilietejakeiden kuiva-aine-, typpi- ja fosforipitoisuuksia. Lisäksi analysoitiin liukoista tyyppiä, ammonium- ja nitraattityyppiä. Tutkittavia jakeita olivat laskeutettu liete ja mädäte sekä mekaanisessa kuivauksessa (linko- ja ruuvikuivaus) syntyneet kuiva- ja nestejakeet. Tulosten perusteella tehtiin laitokohtaiset lietteenkäsittelyn tasetarkastelut.

Tulokset osoittivat, että jätevesilietteen fosfori päätyi pääosin kuivattuun lietteeseen. Lietteen typen jakautuminen mekaanisessa kuivauksessa kuivajakeeseen ja rejektiveteen vaihteli, riippuen oliko typpi liukoisessa vai kiintomuodossa. Mädätys liukoisti tyyppiä merkittävästi, ja lisäsi täten jäteveden puhdistusprosessiin palautuvan typen määrää. Näin ollen, ravinteiden talteenottamiseksi on perusteltua kuljettaa mekaanisesti kuivattu raakaliete keskitettyyn isomman kokoluokan biokaasulaitokseen ennemmin kuin käsitellä lietettä puhdistamokohtaisella mädättämöllä, jossa etenkin rejektivedessä olevan typen talteenotto on taloudellisesti haastavaa.

Avainsanat jätevesiliete, typpi, fosfori, ravinteiden kierto

Sivut 74 sivua ja liitteitä 8 sivua

This thesis was implemented as part of the sewage sludge concentration project called Järkki aiming to find a treatment plant for sewage sludge and operating model in which nutrients in sewage sludge can be safely and energy efficiently utilized. Therefore, the aim of this thesis was to demonstrate how the nutrients (nitrogen and phosphorus) in the sewage sludge are distributed in different fractions of sewage sludge by nutrient analyses. The project is coordinated by Gasum Oy, and HAMK Bio and HAMK Smart research units are involved. This thesis was conducted in cooperation with Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy and Riihimäen Vesi Oy.

The theoretical part of the thesis discussed the generation of sewage sludge within the wastewater treatment process and its treatment methods. The functional part focused on analysing the nutrient contents of the collected sample fractions from the sewage treatment plants. Moreover, nitrogen, phosphorus and dry matter contents generated from the sample fractions, were analysed. The fractions to be analysed were settled sludge and digestate as well as dry and liquid fractions resulting from drying. The used methods of drying were screw drying and centrifugal drying. Based on the results of this thesis were counted the nutrient balance of each wastewater plant.

The results show that most of the total phosphorus ends up in a dried sludge regardless of the drying method and only a small amount ends up in the rejection water. In mechanical drying the distribution of nitrogen varied depending on whether the nitrogen was insoluble or solid form. Digestion significantly dissolved nitrogen which increased the amount of nitrogen returned to the wastewater treatment process. Therefore, in order to recover nutrients, it is justified to transport the mechanically dried raw sludge to a centralized biogas plant of a larger size rather than to treat sludge in a treatment plant-specific digester, where the recovery of nitrogen in the waste is economically challenging.

Keywords Sewage sludge, nitrogen, phosphorus, nutrient cycling

Pages 74 pages and appendices 8 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jätevesilietteen muodostuminen ja käsittely puhdistamolla	2
2.1	Jäteveden puhdistusprosessi	2
2.2	Jätevesilietteen muodostuminen	4
2.3	Jätevesilietteen käsittely puhdistamolla.....	5
2.3.1	Esikäsittelymenetelmät.....	5
2.3.2	Kuivausmenetelmät	6
2.3.3	Käsittelymenetelmät	7
3	Jätevesilietteiden koostumus	9
3.1	Ravinteet	10
3.1.1	Typpi.....	10
3.1.2	Fosfori.....	12
3.2	Orgaaniset ja muut haitta-aineet.....	13
4	Jätevesilietteen käsittely ravinnekierron mahdollistamiseksi	14
4.1	Jätevesilietteen mädätys.....	14
4.2	Nestejakeen jatkokäsittelymenetelmiä	15
4.2.1	Strippaus.....	16
4.2.2	Haihdutetus	16
4.2.3	Kalvomenetelmä	16
4.2.4	Struviittisaostus.....	17
4.3	Kuivajakeen jatkokäsittelymenetelmät	18
4.3.1	Kompostointi	18
4.3.2	Poltto	18
4.3.3	Pyrolyysi	19
4.3.4	Kaasutus	19
4.3.5	Märkähiilto	20
4.4	Uudet jätevedenkäsittelyprosessit ravinnekierron tehostamiseksi	21
4.4.1	RAVITA-prosessi	22
4.4.2	NPHarvest.....	22
5	Materiaalit ja menetelmät	23

5.1	Näytteenotot ja näytteet	23
5.2	Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen	25
5.3	Typpien määrittäminen.....	26
5.4	Fosforin määrittäminen	28
6	Analyysitulokset ja niiden tarkastelu.....	30
6.1	Kuiva-ainetulokset	30
6.2	Typpitulokset.....	33
6.3	Fosforitulokset	37
6.4	Tulosten arviointi	40
6.4.1	Massatase.....	42
6.4.2	Kuiva-ainetase	43
6.4.3	Typpitase	44
6.4.4	Fosforitase.....	47
7	Johtopäätökset	49
	Lähteet.....	51

Kuvat

Kuva 1.	Jäteveden käsittelyprosessi ja lietteen syntykohdat.....	4
Kuva 2.	Jätevesilietteen eräs käsittelymenetelmä.....	5
Kuva 3.	Typpien keskimääräinen jakautuminen mädättämökäsittelyssä	11
Kuva 4.	Fosforin keskimääräinen jakautuminen jätevesilietteen käsittelyssä.....	13
Kuva 5.	Märkähiillon jälkeinen ravinteiden jakautuminen	21
Kuva 6.	Näytteenottokohdat.....	24
Kuva 7.	Typpianalyysiin valmisteltavat lasiputket.....	27
Kuva 8.	Kokonaisfosforimäärittämyksen laimennusliuoksia.....	29
Kuva 9.	Kuiva-ainepitoisuudet HS-Veden ja Riihimäen puhdistamo.....	30

Kuva 10. Kuiva-ainepitoisuudet ruuvikuivauksen, HS-Vesi.	31
Kuva 11. Kuiva-ainepitoisuudet, Riihimäen puhdistamo.	32
Kuva 12. HS-Veden ja Riihimäen puhdistamon VS/TS-pitoisuudet.....	32
Kuva 13. Kokonaistyyppipitoisuudet, HS-Vesi.....	34
Kuva 14. Kokonaistyyppipitoisuudet, Riihimäen puhdistamo.	35
Kuva 15. Nitraattityypipitoisuudet, HS-Vesi.....	35
Kuva 16. Nitraattityypipitoisuudet, Riihimäen puhdistamo.	36
Kuva 17. Ammoniumtyypipitoisuudet, HS-Vesi.	36
Kuva 18. Ammoniumtyypipitoisuudet, Riihimäen puhdistamo.....	37
Kuva 19. Kokonaisfosfori, HS-Vesi.	38
Kuva 20. Kokonaisfosfori, Riihimäen puhdistamo.....	38
Kuva 21. Kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelu, HS-Vesi.	39
Kuva 22. Kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelu, Riihimäen puhdistamo.	40
Kuva 23. Kuva rejektivesistä, HS-Vesi.....	41
Kuva 24. Kuvat lietejakeista, HS-Vesi	41
Kuva 25. HS-Veden massatase.....	42
Kuva 26. Riihimäen puhdistamon massatase.....	43
Kuva 27. HS-Veden kuiva-ainetase	43
Kuva 28. Riihimäen puhdistamon kuiva-ainetase.	44
Kuva 29. HS-Veden typpitase	45
Kuva 30. Riihimäen puhdistamon typpitase.....	45
Kuva 31. Kokonaistyyppipitoisuus.....	46

Kuva 32. Kokonaistyyppi, Riihimäen vesi	47
Kuva 33. Fosforitase HS-Vesi.	48
Kuva 34. Riihimäen puhdistamon fosforitase	48
Kuva 35. Fosforipitoisuudet mädätys ja linkokuivaus.	Error! Bookmark not defined.

Taulukot

Taulukko 1. Näytteiden koodaus, näytepäivät ja näytteenottokohtat.	24
Taulukko 2. Kuiva-ainevähenemät HS-Vesi ja Riihimäen puhdistamo.....	33

Liitteet

Liite 1: Kuiva-ainepitoisuudet

Liite 2: Typpitulokset

Liite 3: Fosforitulokset

Liite 4: Näytelaimennokset

1 Johdanto

Yhdyskuntien jätevesiä puhdistetaan Suomessa noin 350 jätevedenpuhdistamolla, joiden puhdistusteho on kapasiteetiltaan vähintään 100 avl. Asukasvastineluku eli avl on mittayksikkö, jolla ilmoitetaan yhden henkilön tuottama biologinen jätevesikuormistus. Puhdistettavaa jätevettä muodostuu vuosittain reilu 500 miljoonaa kuutiometriä. Puhdistusprosessin sivuvirtana syntyy jätevesilietettä noin 150 000 tonnia vuosittain. Jätevesilietteiden käsittelyn jälkeen pellolle päätyy lietteestä neljäkymmentä prosenttia ja tätä suurempi osa käytetään viherrakentamiseen. (Keränen, 2018; Suomen ympäristökeskus, 2018; Suomen ympäristökeskus, 2015)

Jätevesilietteet sisältävät maan laatua parantavia komponentteja ja kasvien kasvulle välttämättömiä ravinteita, kuten fosforia ja typpeä. Ravinteita poistetaan jätevedenpuhdistuksen monessa eri vaiheessa ja niiden poistaminen on kallista ja energiaa kuluttavaa. Jätevesilietteen sisältämien ravinteiden kierrättäminen vähentäisi neitseellisten ravinteiden tarvetta. Kiertotalousnäkökulmasta ravinteiden kierrättämisellä on tärkeä rooli, sillä pystytään vähemmän uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Jätevesilietteessä olevien ravinteiden potentiaali on suuri ja tarkoitus on löytää turvallinen ja tehokas tapa kierrättää jätevesilietteessä olevat ravinteet. Suomessa valtaosa jätevesilietteestä käsitellään mädättämällä ja kompostoimalla. Perinteisillä menetelmillä ravinteita saadaan kiertoon, mutta niillä ei saada poistettua lietteisiin päätyviä haitta-aineita. Useat toimijat kehittävät keinoja, joilla jätevesilietteiden ravinteet saadaan kiertoon. (Lehtoranta, ym., 2021, s. 3; Tontti, ym., 2013, s.6)

Opinnäytetyön kirjallisuudessa käsitellään jätevesilietteen vaihtoehtoisia käsittely- ja hyödyntämismenetelmiä ravinteiden talteenoton ja kierrätyksen suhteen. Työn tutkimuksellisessa osuudessa selvitettiin pääravinteiden (typpi ja fosfori) pitoisuuksia lietteenkäsittelyn eri vaiheissa kahdella jätevedenpuhdistamolla, HS-Veden Paroisten puhdistamolla Hämeenlinnassa ja Riihimäen Veden puhdistamolla Riihimäellä. Tavoitteena oli selvittää, miten puhdistamolietteen pääravinteet jakautuvat lietteen mekaanisessa kuivauksessa, kuten mädätteen linkokuivauksessa ja laskeutetun lietteen ruuvikuivauksessa. Tulosten pohjalta laskettiin ja tarkasteltiin valittujen alueiden ravinnetaseita. Työn tuloksia

hyödynnettiin arvioitaessa ravinteiden kierrätyksen tehostamismahdollisuuksia Järkki-hankkeessa tarkasteltavan keskitetyn lietteenkäsittelylaitoksen näkökulmasta.

Työn kokeellinen osuus tehtiin HAMKn Hämeenlinnan korkeakoulukeskuksen ympäristölaboratoriossa. Näytteenotot puhdistamoilla tehtiin yhteistyössä laitoshenkilökunnan kanssa. Opinnäytetyö liittyy käynnissä olevaan Jätevesilietteiden ravinteet keskittäen kiertoon -hankkeeseen (Järkki). Hanketta toteuttavat HAMK Bio ja HAMK Smart -tutkimusyksiköt yhteistyössä Gasumin kanssa. Hanke saa rahoitusta ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristonmeren tilan parantamista koskevasta Raki-ohjelmasta.

2 Jätevesilietteen muodostuminen ja käsittely puhdistamolla

Jätevesilietettä syntyy jäteveden puhdistusprosessissa, jonka tarkoituksena on poistaa tulevasta jätevedestä kiintoaines, ravinteet, orgaaninen aines ja haitta-aineet.

Puhdistusprosessi on monivaiheinen prosessi ja siinä pystytään vähentämään tai kokonaan poistamaan bakteerit, virukset, hajut ja orgaaniset haitta-aineet. Jäteveden puhdistaminen on biologiskemiallinen prosessi ja jätevedenpuhdistamoilla käytössä olevat puhdistusprosessikokonaisuudet vaihtelevat puhdistamoittain. (Aalto-yliopisto, n.d.; Kemin energia ja vesi, n.d.)

2.1 Jäteveden puhdistusprosessi

Jätevedenpuhdistusprosessin alkupäässä, eli esikäsittelyvaiheessa jätevesi virtaa välppien läpi. Välppät poistavat tulevasta jätevedestä suurimman irtonaisen roskan pois. Alkupäässä prosessia mitataan laitokselle tuleva jäteveden määrä, jota sanotaan virtaukseksi.

Välppäyksen jälkeen jätevesi kulkee hiekanerotuksen läpi, jossa hiekan lisäksi muukin raskas aine, kuten lasinsirut ja metallikappaleet painuvat pohjaan. Esikäsittelyvaiheessa jäteveteen lisätään saostuskemikaalilla, jotta liukoisessa muodossa oleva fosfaattifosfori saadaan poistettua. (Aalto-yliopisto, n.d.; Kemin energia ja vesi, n.d.)

Jätevedessä oleva fosfori muodostaa vaikeasti liukenevan yhdisteen yhdessä jäteveteen lisättävän kemikaalin kanssa. Vaikealiukoinen yhdiste muodostuu kalsiumin, aluminiumin ja raudan kanssa. Näistä muodostuneet metallifosfaattiyhdisteet ovat veteen liukenemattomia ja ne poistuvat sakkana lietteen mukana selkeytyksessä tai suodatuksessa. (Karttunen, 2004, ss. 140, 142)

Esikäsitteystä jätevesi kulkee esiselkeytykseen, jossa jäteveden mukana tullutta kiintoainesta laskeutetaan. Laskeuttaminen tapahtuu pääosin painovoimaisesti. Laskeutuakseen lietteen viipymän tulee olla riittävä ja virtausnopeus alhainen. Esiselkeytyksessä syntyy lietettä 0,25–0,35 prosenttia jäteveden tilavuudesta, mikä poistetaan laskeutusaltaan lietetaskusta lietteiden käsittelyyn. (Kemin energia ja vesi, n.d.; Aalto-yliopisto, n.d.)

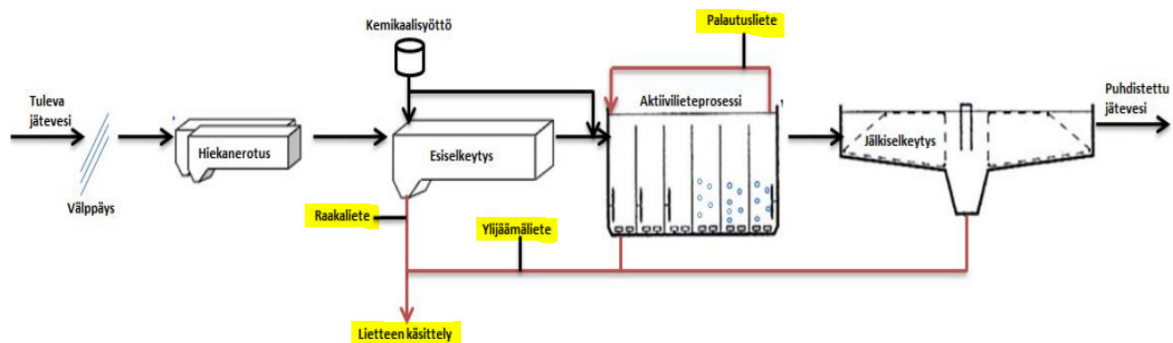
Jätevesi johdetaan biologiseen käsittelyyn, eli aktiivilietekäsittelyyn, joka tunnetaan myös nimellä sekundaarikäsittely. Aktiiviliete sisältää mikrobeja, jotka hajoittavat orgaanista ainesta, kiintoainesta ja ravinteita. Aktiiviliete sekoitetaan ilmastuksen avulla tulevaan jäteveteen. Ilmastuksessa prosessiin lisätään happea, joka takaa aerobisten mikrobien toiminnan hapettaakseen orgaanista ainesta. Tässä kohtaa puhdistusprosessia poistetaan typpeä denitrifikaatio-nitrifikaatiolla. Aktiiviliete palautetaan takaisin kiertoon jälkiselkeyttimestä, jossa liete ja vesi erotetaan. Biomassan laskeutuminen on hidasta ja sitä voidaan nopeuttaa lisäämällä polymeeria. Laskeutuksen jälkeen aktiiviliete palautetaan takaisin prosessiin. Palautuksella varmistetaan lietteen oikeansuuruinen konsentraatio ja kierrätetään toimivat mikrobit uudelleen käyttöön. Ylijäämäliete poistetaan ja se ohjataan jatkokäsittelyyn. (Kemin energia ja vesi, n.d.; Laitinen ym., 2014, s. 49; Aalto-yliopisto, n.d.)

Jäteveden puhdistusprosessin viimeistelee jälkikäsitteely, jossa lähtevän veden puhtaus viimeistellään. Jälkikäsitteelyvaiheessa vähennetään veteen jäänyttä kiintoainetta, typpeä ja fosforia. Menetelminä voidaan käyttää biologista suodatusta, flotaatioselkeytintä, jälkisuodantinta ja laskeutusselkeytintä. Tarvittaessa purkuvesien hygienisointi tehdään jälkikäsitteelyssä ennen luonnon vesiin laskemista. (Laitinen ym., 2014, s. 29)

2.2 Jätevesilietteen muodostuminen

Jätevesilietettä syntyy eri kohdista jätevedenpuhdistusta. Selkeyttääkseen, mistä lietteestä kulloinkin puhutaan, jokainen lietejake on nimetty erikseen. Yleisesti jätevesilietteeksi kutsutaan kaikkea laskeutunutta lietettä, joka muodostuu välppäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen. Täten jätevesilietettä syntyy puhdistusprosessissa esiselkeytyksestä jälkiselkeytykseen. Kuvassa 1 on esitettyjä jätevesilietteen syntykohdat ja eri lietteistä käytetyt nimitykset. Jätevesilietettä, joka syntyy esiselkeytyksessä, kutsutaan raakalietteeksi. Esiselkeytyksessä liete on painavaa ja laskeutuu pohjaan. Ilmastusaltaissa tai jälkiselkeyttimessä syntyvää jätevesilietettä kutsutaan ylijäämälietteeksi. Raakalietteestä ja ylijäämälietteestä koostuvaa seosta kutsutaan sekalietteeksi. Palautuslietteeksi kutsutaan aktiiviprosessissa olevaa aktiivilietettä, joka palautetaan ilmastuksen alkuun. (Pöyry Environment Oy, 2017, s. 3; Laitinen ym., 2014, s. 9)

Kuva 1. Jäteveden käsittelyprosessi ja lietteen syntykohdat (Aalto-yliopisto, n.d.).

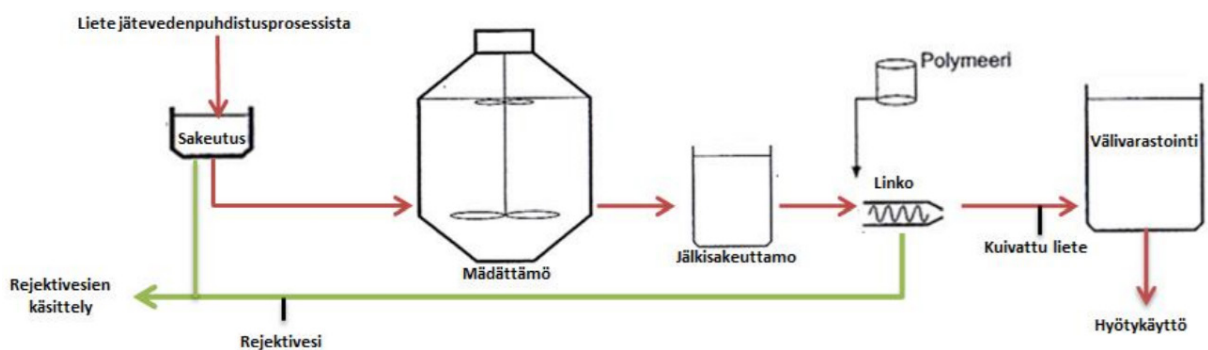


Jätevesilietettä tiivistetään eli siitä poistetaan vettä painovoimaisesti. Painovoimaisen laskeutuksen lisäksi muita tiivistysmenetelmiä ovat flotaatiotiivistys sekä mekaaninen tiivistys lingolla, suotonauhapuristimella tai ruuvilla. Painovoimaisella tiivistyksellä voidaan päästä yleisesti vain 3–4 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen. Tehokkaimmilla tiivistysmenetelmillä kuiva-ainepitoisuus nousee 2–3-kertaiseksi, jolloin kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 9 prosenttiin. Tässä opinnäytetyössä tiivistetystä lietteestä käytetään nimeä laskeutettu liete. (Karttunen, 2004, ss. 560–562)

2.3 Jätevesilietteen käsittely puhdistamalla

Jätevesilietteen käsittelyn tarkoituksena on hygienisoida syntynyt liete ja valmistaa siitä säädösten mukainen lannoitevalmiste hyödyntäen lietteen sisältämät ravinteet (Vuorinen, 2013, s. 4). Kuvassa 2 on esitettyä jätevesilietteen käsittelyprosessi mädätyksellä ja linkouksella. Opinnäytetyön kohteina olleiden puhdistamojen jätevesilietteen käsittelyprosessi mukailee kuvan 2 prosessia. HS-Vedellä on käytössä lisäksi toinen käsittelyhaara. Siinä sakeutuksesta tullut laskeututtu liete johdetaan ruuvikuivaimelle. Kuivauksessa syntyvä rejektivesi johdetaan takaisin jätevesien käsittelyyn, kuten kuvassa 2. Ruuvilta erottunut raakaliete kuljetetaan jatkokäsittelyyn ja rejekti johdetaan takaisin jätevesien käsittelyyn.

Kuva 2. Jätevesilietteen käsittely mädättämöllä (Aalto-yliopisto).



2.3.1 Esikäsittelymenetelmät

Sakeutus, tiivistys ja kunnostus ovat käytössä olevia esikäsittelymenetelmiä. Sakeutus ja kunnostus nostavat lietteen kuiva-ainepitoisuutta poistamalla vettä jätevesilietteestä. Sakeutusta voidaan tehdä laskeuttamalla lietettä tai nostattamalla liete pinnalle ilmakupilla. Kunnostusta käytetään esikäsittelyynä helpottamaan veden erotusta kuivaamisvaiheessa. Uusista kehitteillä olevista esikäsittelytekniikoista mainittakoon esimerkkinä terminen hydrolyysi, jossa lämmön ja paineen avulla rikotaan solurakenne. Muita esikäsittelymenetelmiä ovat otsonointi, kemiallinen kunnostus ja osittainen hapetus. (Motiva, 2018a, s. 3; Berninger ym., 2017, ss. 36, 98; Karttunenm 2004, ss. 577–578)

Kunnostamisen tarkoitus on parantaa jätevesilietteen vedenluovutusominaisuuksia. Jätevesilietteen rakenne on geelimäinen, koska se sisältää runsaasti vettä sitovia mikro-organismeja. Geelimäinen rakenne auttaa jätevesilietteen pitämään nesteen itsessään eikä vesipitoisuutta pystytä pienentämään ilman kunnostusta. Useissa kunnostusmenetelmissä lisätään kemikaalia lietteeseen. Kemikaalien tarkoitus on rikkoa jätevesilietteen geelimäinen rakenne. Tavoitteena on saada kiintoaine jäämään lietteeseen rejektiveden sijaan. Käytettäviä kunnostuskemikaaleja ovat ferrokloridi, kalkki sekä orgaaniset polymeerit. (Karttunen, 2004, ss. 577–578)

Termisessä hydrolyysissä solurakenne rikotaan korkeassa paineessa ja lämpötilassa, jolloin soluneste vapautuu. Terminen hydrolyysi steriloi jätevesilietteen hydrolysoimalla jätevesilietteen orgaanisen aineksen sekä tappamalla kaikki taudinaiheuttajat. Menetelmää käytetään ennen mädätystä parantamaan jätevesilietteen mädätettävyyttä. Ultraäänikäsittelyssä hajotetaan ultraäänen avulla mikrobisoluja ja kiintoainetta. Menetelmän tavoitteena on lisätä jätevesilietteestä syntyvän biokaasun tuotantoa. (Motiva, 2018a, s. 3; Tyrväinen ym., 2013, s. 33)

2.3.2 Kuivausmenetelmät

Jätevesilietettä voidaan kuivata eri menetelmillä, joilla vaikutetaan syntyvän kiintojakeen kuiva-ainepitoisuuteen ja rejektiveden laatuun. Menetelmän valintaan vaikuttavat jätevesilietteen laatu tai sen jatkokäsittelytarkoitus. Jatkokäsittelyä varten kuiva-ainepitoisuus nostetaan noin 5 prosentista yli 20 prosenttiin. Mekaanisilla kuivausmenetelmillä päästään 10–40 prosentin kuiva-ainepitoisuuksiin. Tätä korkeampiin kuiva-ainepitoisuuksiin pyrittäessä voidaan käyttää termistä kuivausta. Eniten käytettyjä mekaanisia kuivaimia ovat linko, ruuvipuristin ja suotonauhapuristin. (Motiva, 2018b, s. 3; Lohiniva ym., 2001, s. 52)

Suotonauhapuristimilla saadaan jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuus nousemaan 20–40 prosenttiin. Suotonauhapuristinmenetelmiä on kahdenlaisia: jatkuvia viirapuristimia tai epäjatkuvia kammipuristimia. Kammipuristimissa kammioihin täytetty jätevesiliete puristetaan pumppauspaineen avulla, jolloin rejektivesi poistuu viirojen eli verkkokankaan

läpi. Kuivattu liete poistetaan viiroista. Jatkuvilla viirapuristimissa jätevesiliete ohjataan tilaan, joka on kahden viirakankaan rajaama alue. Liikkuvat viirakankaat puristavat lietteen paineella. (Karttunen, 2004, s. 567)

Ennen jatkokäsittelyä jätevesiliete voidaan termisesti kuivata, jolla saavutetaan korkeampia kuiva-ainepitoisuuksia kuin mekaanisella kuivauksella. Lopputulos on hygienisoitunut jätevesiliete, joka voi olla täysin kuiva (yli 85 % TS), tai osittain kuiva (alle 85 % TS). Termisellä kuivauksella kuivattu jätevesiliete on jauhemaista ja se voidaan pelletöidä käsittelyn helpottamiseksi. Termisesti kuivattua jätevesilietettä voidaan käyttää useiden käsittelymenetelmien raaka-aineena, kuten pyrolyysissä ja kaasutuksessa. (Lehtoranta ym., 2021, s. 31; Vieno ym., 2018, s. 16; Pöyry Finland Oy, 2019, s. 25)

2.3.3 Käsittelymenetelmät

Mesofiilinen mädätys on anaerobinen prosessi, joka tehdään suljetussa biokaasureaktorissa noin 35–42 °C:een lämpötilassa. Märkämädätyksessä reaktoriin menevän syötteen kuiva-ainepitoisuus on 15 prosenttia TS (Total solids, kuiva-aine), kun taas kuivamädätyksessä kuiva-ainepitoisuus on jopa 20–40 prosenttia TS. Mädätyksessä lietteen kiintoainemäärä pienenee ja tuotoksena saadaan lietettä kuivaukseen ja energiana hyödynnettävää biokaasua. Mädätyksen aikana jätevesiliete stabiloituu. Haasteena mesofiilisessä mädätyksessä on se, että mädätetty liete pitää jatkokäsittellä hygienisoinnin varmistamiseksi, jotta sitä voidaan käyttää lannoitteena. (Berninger ym., 2017; Tyrväinen ym., 2013, ss. 31–32)

Mikäli mädätysjäännöstä halutaan käyttää lannoitevalmisteena, voidaan jälkikompostoinnin sijasta käyttää hygienisointiyksikköä varmistamaan jätevesilietteen hygienisoituminen. Hygienisointiyksikössä jätevesilietettä pidetään 70 °C:een lämpötilassa tunnin ajan. Mädätysjäännöksen jatkokäsittelyprosesseja voivat olla mekaaninen kuivaus, kompostointi tai terminen kuivaus. Mädätetty liete voidaan kuljettaa myös muualle käsiteltäväksi. (Tyrväinen ym., 2013, ss. 31–32)

Jätevesilietteet voidaan kompostoida joko kuivauksen tai mädätysprosessin jälkeen. Kompostoinnissa noin puolet orgaanisesta aineksesta hajoaa hapellisissa olosuhteissa. Mikrobiologisessa hajotusprosessissa vapautuu vettä, hiilidioksidia ja ravinteita. Usein jätevesilietteeseen lisätään seosainetta ennen kompostia, jolloin kompostista saadaan ilmavampi. Kompostointi on kaksivaiheinen prosessi, jossa ensimmäisessä osassa jätevesilietteen lämpötila nousee ja pH on 4–6, jolloin liete hygienisoituu. Toinen vaihe on jälkikypsytyks, jossa lämpötila laskee ja tapahtuu nitrifikaatio. Jälkikypsytyks tehdään useimmiten avoimella alueella ja kompostia käännetään aika ajoin. Kompostoitua lietettä voidaan käyttää maanparannusaineena. Mikäli kompostista halutaan valmistaa multaa, kompostin sekaan lisätään hiekkaa. (Tyrväinen ym., 2013, ss. 30–31)

Kalkkistabiloinnissa bakteerit tuhoutuvat ja fosfori sekä raskasmetallit sitoutuvat lietteeseen. Jätevesilietteen kalkkistabiloinnin tarkoituksena on hygienisoida jätevesiliete maanparannusainekäyttöön. Kalkkistabilointi voidaan tehdä jätevesilietteelle ennen tai jälkeen kuivauksen, jopa kuivauksen aikana. Kalkkistabilointi tehdään joko poltetulla tai sammutetulla kalkilla. Poltetulla kalkilla jätevesilietteen lämpötila nousee 50–70 °C:seen samalla nostattaen jätevesilietteen pH:n yli 12. Kalkki sekoitetaan mekaanisesti jätevesilietteeseen ja se sitoo vettä itseensä, jolloin myös jätevesiliete steriloituu. Käsiteltävää lietettä pidetään kahden tunnin ajan emäksisellä alueella eli pH on yli 12. Mikäli kalkkistabilointi tehdään sammutetulla kalkilla, ei lämpötila nouse. Silloin on varmistettava kalkkistabiloinnin vaikutukset pitämällä jätevesilietteen pH:ta korkealla vähintään kaksi vuorokautta. Kalkkistabilointi on menetelmänä yksinkertainen ja helposti ohjattavissa oleva prosessi. Siinä tarvittavaa korkeaa pH-tilaa voidaan hyötykäyttää myös strippausmenetelmässä. Haasteina kalkkistabiloinnissa ovat korkeat kemikaalikustannukset ja jäljelle jäävän lietteen suuri määrä. (Tyrväinen ym., 2013, ss. 32; Karttunen, 2004, s. 570)

Jätevesilietteet voidaan happo- ja hapetuskäsitellä, joka on tunnettu Kemicond-käsittelynä. Menetelmässä kemiallisella hydrolyysillä ja hapetuksella hajoitetaan orgaanisia epäpuhtauksia. Happo-hapetuskäsittelyllä voidaan stabiloida ja hygienisoida jätevesiliete. Käsittelymenetelmässä jätevesilietteeseen lisätään rikkihappoa ja lasketaan seoksen pH neljään. Tämä hajoittaa jätevesilietteen rakennetta ja liuottaa samalla metallisuoloja. Sen jälkeen lisätään vetyperoksidia hapettamaan jätevesiliete. Lopuksi liete neutraloidaan ja

siihen käytetään natriumhydroksidia tai kalkkia. (Tyrväinen ym., 2013, ss. 32–33; Pöyry Environment Oy, 2017, s. 33)

3 Jätevesilietteiden koostumus

Jätevesiliete on suurimmalta osaltaan vettä, siihen sekoittunutta kiinteää ainetta sekä liuennutta ainesta. Kiinteä ja liuennut aines yhdessä muodostavat lietteen kuiva-aineen. Kuiva-aine on pääosin orgaanista ainesta. Orgaanisen aineen määrä jätevesilietteessä kuiva-ainetta kohden vaihtelee 45–90 prosenttia. Kuiva-aine sisältää ravinteita, metalleja ja haitta-aineita. Haitalliset aineet jätevesilietteiin päätyy mm. kotitalouksien pesu- ja puhdistusaineista. Jätevesilietteessä olevan kiintoaineen määrään vaikuttavat esikäsitteilymenetelmät, joita ovat puhdistamojen käyttämät sakeutus- ja kuivausprosessit. Typpi ja fosfori ovat pääosin sitoutuneena lietteen orgaaniseen ainekseen ja esiintyvät lietteessä liukenemattomassa ja liukoisessa muodoissa. (Wiechmann ym., 2015, s. 11; Tontti & Salo, 2013, s. 7)

Jätevesilietteen veden poistoa eli kuiva-ainepitoisuuden nostoa voidaan toteuttaa eri käsittelymenetelmillä. Jätevesilietteen sisältämästä nesteestä 70–75 prosenttia on vapaata vettä, 20–25 prosenttia vapaata kapillaarivettä, sekä 2 prosenttia fysikaalisesti sitoutunutta vettä ja sidottua vettä. Vapaa vesi saadaan jätevesilietteestä poistettua laskeuttamalla tai sakeutuksella. Kapillaarivesi, joka on sitoutuneena lietteeseen adheesiolla tai koheesiolla, voidaan poistaa mekaanisesti mm. linkokuivauksella. Fysikaalisesti sitoutuneella vedellä tarkoitetaan sitä vettä, joka on lietepartikkelien sisällä. Sen poistamiseen tarvitaan polymeerejä sitomaan lietehiukkasia yhteen, jolloin mekaaninen kuivaus onnistuu. Sidotun veden poistamiseen tarvitaan kemiallisen kunnostus, jolla saadaan rikottua lietteen rakennetta. Tämän jälkeen käytetään mekaanista kuivausta, jota voidaan tehostaa polymeerein tai kuumentamalla lietettä. (Lohiniva ym., 2001, s. 52; Pöyry Finland Oy, 2019, s. 25)

3.1 Ravinteet

Jätevesilietteeseen päätyy vain osa jätevedenpuhdistamolle tulleista ravinteista. Suomen jätevesien sisältämistä ravinteista saatiin poistettua keskimäärin 96 prosenttia fosforista ja 66 prosenttia typestä, vuoden 2017 tietojen mukaan. Fosforista saadaan uudelleen kiertoon 70 prosenttia jäteveden sisältämästä fosforin määrästä ja typestä saadaan kiertoon vajaa 10 prosenttia. Jätevesilietteen sisältämät ravinteet eivät pääsääntöisesti ole sellaisessa muodossa, että kasvien olisi niitä helppo hyödyntää. (Suomen ympäristökeskus, 2021; Suomen ympäristökeskus, 2019a)

3.1.1 Typpi

Typpiä on tulevassa jätevedessä orgaanisessa ja epäorgaanisessa muodossa. Jätevesi ja -liete sisältävät typpiä eri muodoissa: nitriittinä (NO_2^-), nitraattina (NO_3^-), ammoniumtyyppinä ($\text{NH}_4\text{-N}$) sekä liukoisena ja liukenemattomana tyyppinä. Jäteveden puhdistuksessa haihtuva typpi on kaasumuotoista typpiä (N_2). Orgaaninen typpi muuttuu ammoniummuotoon mädätyksessä. Liukoisen tyypin määrään vaikuttaa se, kuinka orgaanista ainesta on käsitelty ja onko se hajonnut. (Ervasti ym., 2018, s. 7; Tontti & Salo, 2013, s. 7)

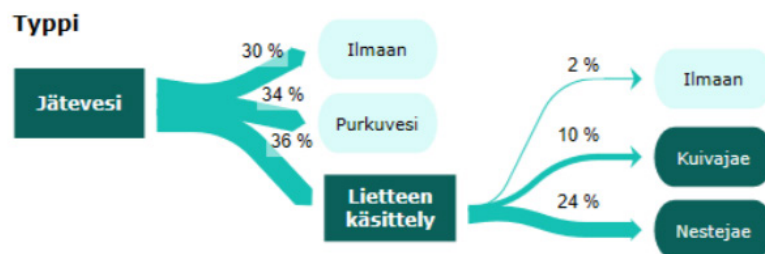
Tyypin poistuminen jätevedestä tapahtuu mikrobien toimesta aktiivilieteprosessin eri vaiheissa. Ensimmäisessä vaiheessa poistuu orgaaninen aines sekä tapahtuu kaksivaiheinen nitrifikaatio. Nitrifikaatiossa jätevedessä oleva ammoniumtyppi hapettuu ensin nitriitiksi, sitten nitraatiksi. Nitrifikaatio tapahtuu hapellisissa olosuhteissa, kun jäteveden viipymä on riittävä. Yksistään nitrifikaatio ei ole haluttu reaktio, vaan se tarvitsee rinnalleen denitrifikaation tyypinpoiston varmistamiseksi. Kun nitrifikaatiossa ammoniumtyppi hapettuu nitraatiksi, niin denitrifikaatiossa nitraatti pelkistyy typpikaasuksi anaerobisissa olosuhteissa. (Suomen ympäristökeskus, 2019b; Karttunen, 2004, ss. 211–213)

Onnistunut tyypin poistoprosessi vaatii suotuisat olosuhteet, kuten ulkoisen hiilen lähteen, oikean pH:n, riittävän lämpötilan ja oikean määrän happea. Vuoden 2017 tietojen mukaan jätevesien mukana typpiä saapuu jätevedenpuhdistamoille noin 32 700 tonnia (Suomen

ympäristökeskus 2019a). Typenpoistossa lietteeseen jää typpeä noin 30 prosenttia ja loput vapautuvat typpikaasuna. Typen puhdistusteho jätevesistä on noin 66 prosenttia, jolloin osa typestä lasketaan purkuveden mukana. (Laitinen ym., 2014, s. 47; Tyrväinen ym., 2013, s. 28; Suomen ympäristökeskus 2019a)

Jätevedessä olevan typen jakautuminen puhdistus- ja lietteenkäsittelyprosessissa (Lehtoranta ym., 2021) raportin mukaan on esitettyä kuvassa 3. Jäteveden puhdistuksessa typpi jakautuu seuraavasti: vajaa kolmasosa haihtuu ilmaan, reilu kolmasosa poistuu purkuveden mukana vesistöön ja osa typestä päättyy jätevesilietteen mukaan lietteenkäsittelyyn. Lietteenkäsittelyssä typpeä haihtuu ilmaan vain pieniä määriä ja kuivajakeeseen päättyy kolmannes. Suurin osa jätevesilietteessä olevasta typestä päättyy rejektiveteen, joka kierrätetään jäteveden puhdistamoilla takaisin kiertoon kuvan 2 mukaisesti. (Gasum Biovakka Oy, 2016, ss. 2–3) Jopa 20 prosenttia jätevedenpuhdistamon typpikuormasta voi tulla mädättämöstä peräisin olevasta rejektivedestä, joka johdetaan takaisin puhdistusprosessiin (Hyvärinen, 2017).

Kuva 3. Typen keskimääräinen jakautuminen mädättämökäsittelyssä (Lehtoranta ym., 2021, s. 14).



Kokonaistypellä tarkoitetaan kaikkia typen muotoja eli orgaaninen typpi, nitriitti, nitraatti ja ammonium, joiden summasta saadaan kokonaistypen määrä. Liukoinen typpi koostuu ammoniumtypestä, nitraatista ja nitriitistä. Liukoinen typpi vapautuu muuta typpeä nopeammin ja on sellaisessa muodossa, että kasvien on helppo sitä käyttää. Poistettaessa kokonaistypestä liukoisen typen määrä, jäljelle jää orgaaninen typpi. Kuivajakeessa valtaosa typestä on sitoutuneena orgaanisen ainekseen. (Luonnonvarakeskus, 2019, s. 5; Savonia-ammattikorkeakoulu, n.d., ss. 1–2)

3.1.2 Fosfori

Kierrätettävissä olevaa fosforia on Suomessa 26 000 tonnia vuodessa. Jätevesien mukana puhdistamoille fosforia päätyy 4 300 tonnia vuodessa. Yhdyskuntajätevesiin päätyvä fosfori on peräisin virtasta ja ihmisten käyttämistä pesuaineista. Suurin osa puhdistamolle saapuvasta fosforista saadaan talteen ja jopa kaksi kolmasosaa fosforista saadaan tiivistettyä jätevedestä poistettavaan ja kuivattavaan lietejakeeseen. (Berninger ym., 2017, ss. 5–6, 34; Lehtoranta ym., 2021, s. 21)

Jätevesien sisältämä fosfori voidaan ottaa talteen eli poistaa jätevedestä kemiallisilla tai biologisilla fosforin talteenottomenetelmillä. Suomessa kemiallinen saostus on fosforin pääasiallinen poistomenetelmä, jossa fosfori saostuu jäteveteen lisättävään kemikaaliin. Kemikaalin lisääminen tehostaa fosforinpoistoa jätevedestä lietteeseen. Fosforin kokonaismäärä ei juurikaan muutu kemiallisessa talteenottomenetelmässä. Lietteessä olevan fosforin liukoisuuteen voidaan vaikuttaa käytetyllä saostusmenetelmällä. Usein fosforin poistoon käytetään saostusainetta, kuten kalkkia tai rauta- ja alumiinisuoloja ennen biologista käsittelyä. Tämän opinnäytetyön kohteena olevilla puhdistamoilla on käytössä ferrosulfaatti. Ferrosulfaatin käytön kustannukset ovat kohtuullisia, sillä ferrosulfaattia saadaan kemian teollisuudesta jäteaineena. (Laitinen ym., 2014, ss. 42–43; Pihl, 2019; Karttunen, 2004, ss. 142–143; Tontti & Salo, 2013, s. 7)

Biologisella prosessilla on tärkeä rooli orgaanisen aineksen ja typen vähentämisessä mikrobiston avulla. Hyvin vähäinen määrä fosforista poistuu sitoutuneena mikrobien biomassaan. Varsinainen biologinen fosforinpoisto vaatii kuitenkin erikoisolosuhteet. Biologisessa fosforinpoistossa vaihtelee aerobiset ja anaerobiset olosuhteet. Samalla sitoutuu haitallisia aineita lietteeseen, jolloin jäteveden hygieeninen laatu paranee. (Pihl, 2019; Berninger ym., 2017, ss. 34–35)

Jäteveden puhdistuksessa suurin osa fosforista päätyy jätevesilietteeseen kuvan 4 mukaisesti. Jätevesilietteen käsittelyssä fosforista häviää pieni osuus ja kolmasosa poistuu rejektivesien mukana uudestaan kiertoon, jolloin suurin osa fosforista saadaan sitoutumaan kuivajakeeseen.

Kuva 4. Fosforin keskimääräinen jakautuminen jätevesilietteen käsittelyssä, mädätysmenetelmällä (Lehtonen ym., 2021, s. 14).



Yleisin fosforitekniikoiden haaste on, ettei talteen otettu fosfori ole muodoltaan sellaisenaan hyötykäytettävässä muodossa esimerkiksi lannoitteisiin. Kemiallisen menetelmän käytöllä pyritään muuntamaan poistettu fosfori helpommin käytettävään muotoon. Fosforia voidaan ottaa talteen erilaisin tekniikoin lietteestä, rejektivedestä ja lietteen tuhkasta. Polttotuhkan sisältämä fosfori saadaan hyötykäytettyä erottamalla fosfori tuhkasta tai käyttämällä tuhkaa sellaisenaan. (Pihl, 2019; Berninger ym., 2017, s. 35)

3.2 Orgaaniset ja muut haitta-aineet

Jätevedet sisältävät myös paljon ympäristölle haitallisia aineita, jotka päätyvät puhdistettuun veteen tai sitoutuvat lietteeseen. Vain osa haitallisista aineista hajoaa puhdistusprosessissa, koska prosessissa ei keskitytä niiden tehokkaaseen poistamiseen. Lietteeseen päätyneestä orgaanisesta haitta-aineesta osa hajoaa mädätyksessä ja osa jälkikompostoinnissa. Lopputuotteeseen saakka päätyvät vain pysyvimmät orgaaniset haitta-aineet. (Haavisto, 2018, s. 15; Laitinen ym., 2014, s. 67)

Jätevesilietteessä olevat haitta-aineet ovat metalleja, taudinaiheuttajia, orgaanisia haitta-aineita, mikromuoveja ja antibioottiresistenssi. Yhdyskuntajätevesiin päätyy haitta-aineita pyykinpesusta sekä kosmetiikan ja lääkeaineiden käytöstä. Osalle haitta-aineista on määritelty sallitut raja-arvot, mutta joillekin haitta-aineille raja-arvoa ei ole vielä asetettu. Raskasmetallipitoisuudet jäävän nykyisillä käsittelymenetelmillä alle raja-arvojen, koska niiden poistamistoimenpiteitä on työstyetty tavoitteellisesti. Hygienisoinnin tarkoituksena on poistaa ja tuhota taudinaiheuttajat. (Laitinen, 2014, s. 12; Haavisto, 2018, s. 14–15)

Jätevedenpuhdistamolla orgaaniset haitta-aineet voivat sitoutua lietteeseen tai ne voivat haihtua käsittelyssä, hajota mädätyksessä tai muuntua. Orgaanisen haitta-aineen sitoutumiseen vaikuttaa sen ominaisuudet, kuten rasvaliukoisuus tai varaus. Haitta-aine sitoutuu lietteeseen helpommin, mitä rasvaliukoisempi se on. Varaukseltaan neutraali tai positiivinen haitta-aine sitoutuu parhaiten lietteeseen. Opinnäytetyössä ei ole tutkittu haitta-ainepitoisuuksia, mutta tämä puoli on hyvä tiedostaa ravinnekiertoa tutkittaessa. (Vieno ym., 2018, s. 23)

4 Jätevesilietteen käsittely ravinnekierron mahdollistamiseksi

Jätevesilietteen käsittelyn keskeisiä tavoitteita ovat tärkeiden ravinteiden talteenotto ja kuljetuskustannuksien pienentäminen. Muita tavoitteita käsittelylle ovat hajujen poisto ja ympäristölle haitallisten aineiden vähentäminen. Käsittelymenetelmiä kehitetään jatkuvasti ja kehittämisen tavoitteena on löytää jätevesilietteen ravinteille turvallinen kierto ja jätevesiliettele paras mahdollinen hyötykäyttö. Näkökulmia menetelmien kehitykselle ovat jätevesilietteen hygieeninen laatu, varastoitavuus, käsiteltävyys, levitettävyys ja hajuhaittojen vähentäminen sekä kustannukset. (Berninger ym., 2017, s. 34)

Tässä luvussa esitetään jätevesilietteen eri käsittelymenetelmiä ravinnekierron mahdollistamiseksi. Pääpainona tässä luvussa on typpi- ja fosforitarkastelut käsittelymenetelmissä. Useat esitetyistä menetelmistä ovat tutkimusasteella eivätkä ne ole vielä laajasti käytössä jätevesilietteen käsittelyssä.

4.1 Jätevesilietteen mädätys

Yksi yleisimmistä lietteenkäsittelymenetelmistä on lietteen anaerobinen käsittely eli mädätys. Suurin osa Suomen jätevesilietteestä käsitellään mädättämällä tai kompostoimalla. Anaerobinen mädätys on neljävaiheinen prosessi, mikä tapahtuu hapettomissa olosuhteissa useiden eri mikrobien aikaansaannoksena. Ensimmäinen vaihe on hydrolyysi, jossa helposti hajoavat proteiinit, hiilihydraatit ja lipidit pilkkoutuvat ja liukoistuvat. Toisessa vaiheessa, asidogeneesivaiheessa muodostuu lyhytketjuisia rasvahappoja ja alkoholeja, joiden lisäksi muodostuu ammoniakia, hiilidioksidia ja vetyä. Kolmannessa vaiheessa, asetogeneesissä

edeltävässä vaiheessa syntyneet tuotteet muuttuvat asetogeenisten bakteerien toimesta etikkahapoksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Neljännessä vaiheessa, metanogeneesissä syntyy metaania ja hiilidioksidia etikkahaposta, vedystä ja hiilidioksidista. (Ek, 2013, s. 4; Ruuhela, 2017, ss. 16–17; Kymäläinen, 2015, ss. 60–62)

Mädätykseen menevän jätevesilietteen sisältämistä haihtuvista orgaanisista yhdisteistä hajoaa biokaasuksi noin puolet mädätyksen aikana (Suh & Rousseaux, 2002). Jäljelle jäävää tyyppiä liukoistuu rejektiveteen ammoniumtyyppinä. Suurin osa fosforista sitoutuu jätevesilietteen kiintoaineeseen. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori vapautuu, kun orgaaninen aines hajoaa mädätyksessä. Mädätysjännös sisältää kasveille tärkeitä ravinteita. Sen sisältämät ravinteet ovat samoissa pitoisuuksissa, kuin jätevedenpuhdistamolle saapuessaan. Ravinnevirtana mädätetty jätevesiliete on laimea, vaikka ravinteet säilyvät mädätyksessä. (Ruuhela, 2017, ss. 19–20)

Jätevesilietteen kuivauksessa muodostuu kuivajaetta ja nestejaetta eli rejektiiä. Jätevedenpuhdistamoilla rejektii ohjataan usein takaisin jätevesien käsittelyyn. Uudelleen käsittelyn sijaan rejektii voidaan käsitellä muilla menetelmillä ravinteiden talteenottamisen näkökulmasta. Seuraavissa kappaleissa käsitellään typen talteenottomenetelmiä rejektivedestä ja fosforin talteenottomenetelmiä kuivajakeesta. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, 2016, s. 4)

4.2 Nestejakeen jatkokäsittelymenetelmiä

Rejektivesiä voidaan erilliskäsitellä sen sijaan, että ne ohjattaisiin takaisin puhdistusprosessiin. Erilliskäsittelyssä typenpoistoon voidaan käyttää esim. anammox-bakteeria yhdessä ammoniumia hapettavien bakteerien kanssa. Tällöin typenpoisto tapahtuu osittaisella nitrifikaatiolla, jolloin suurin osa ammoniumtyyppisestä saadaan muutettua typpikaasuksi ja pieni osa nitraattitypeksi. Rejektivesien erilliskäsittely vähentää typpikuormaa ja typen puhdistamiseen tarvittavaa puhdistamon pinta-alaa sekä kustannuksia. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, 2016, s. 5)

4.2.1 Strippaus

Strippausmenetelmässä typpi otetaan talteen rejektivedestä liuosmuotoisena. Menetelmä perustuu typen höyrynpaine-eroon veden kanssa, jolloin nestejakeesta saadaan erotettua ammoniakkia kaasufaasiin. Vaikuttavia tekijöitä ammoniakin haihtumiseksi kaasufaasiin ovat riittävän korkea lämpötila ja pH. Ilman määrällä pystytään vaikuttamaan ammoniakin siirtymiseen nestejakeesta kaasufaasiin, sillä ammoniakki pyrkii tasapainoon eri faasien kesken. Ammoniakin pitoisuutta voidaan vähentää lisäämällä ilmamäärää, jolloin kaasufaasin alentuneen osapaineen ansiosta nesteestä haihtuu ammoniakkia. Strippauksen lopputuotteena syntyy typpivettä. Typpiliuos on väkevyydeltään noin 5 prosenttista typpiliuosta, joka sellaisenaan käy esimerkiksi savukaasujen pesuun. Typpiliuoksella voidaan myös nostaa typpipitoisuutta raakalannassa. (Paavola & Kapunen, 2015, ss. 103–104; Gasum Biovakka Oy, 2016, s. 3)

4.2.2 Haihdutus

Maataloustieteellisessä yliopistossa Ruotsissa on kehitetty alkalinen haihdutusmenetelmä, jolla saadaan virtsan sisältämää typpeä ja fosforia kiertoon. Haihdutusmenetelmällä saadaan pienennettyä virtsan tilavuutta jopa alle kymmenesosaan alkuperäisestä, näinollen massareduktio voi olla parhaimmillaan 95 prosenttia. Menetelmässä alkaloidaan virtsa johtaen se hartsipedin läpi, joka toimii ioninvaihtimena. Alkaloitu virtsa imeytetään kantoaineeseen eli substraattiin kuten magnesiumoksidiin tai tuhkakalkkiseokseen ja imeytymätön ylimääräinen virtsa haihdutetaan pois. Jäljelle jäävään lopputuotteeseen saadaan typpi tiivistettyä tehokkaasti. Virtsan sisältämästä typestä saadaan talteen jopa 64–90 prosenttia ja fosforista 100 prosenttia. (Malila ym., 2019, ss. 3, 17)

4.2.3 Kalvomenetelmä

Kalvomenetelmässä käytetään puoliläpäiseviä kalvoja rejektivesien suodatukseen. Syötteestä muodostuu erotuksen jälkeen kaksi eri jaetta, konsentraatti (retentaatti) ja rejekti (permeaatti). Retentaatti jää kalvon tulopuolelle ja permeaatti on puhdistettu jae, jota muodostuu alkuperäisestä syötteestä 50–80 prosenttia. Kalvomenetelmä perustuu useaan

eri tekijään, joita ovat paine-, lämpötila-, konsentraatio- ja sähköpotentiaalierot. Suodatusta voidaan tehdä sarjassa, suurihuokoisesta kalvosta kohti tarkempaan erotustehokkuuteen. Liukoisten ravinteiden erottamiseen käytetään nanosuodatusta ja käänteisosmoosia. (Lehtoranta ym., 2021, ss. 46–47)

Kalvomenetelmällä syntyy ravinnekonsentraattia, jonne päätyvät niin ravinteet kuin haitta-aineet. Prosessissa saadaan ammoniakkia talteen ja sitä väkevöidään ammoniumkonsentraatiksi. Etuna menetelmässä on sen vähäinen kemikaalien tarve fosforinpoistoon. Toistaiseksi suodatetuista rejektivesistä saadaan suurin osa ravinteista ja haitta-aineista pois, jolloin vesi on lähes puhdasta jatkokäyttöön. (Vesitalous, 2020; Lehtoranta ym., 2021, s. 46; Zarebska ym., 2014, s. 1479)

4.2.4 Struviittisaostus

Struviittia voidaan saostaa ja kiteyttää jätevedestä, jossa fosfori- ja ammoniakkipitoisuudet ovat korkeita. Jätevedessä fosforipitoisuus on tyypillisesti melko pieni (5 mg/l). Jos jätevedestä ei ole saostettu fosforia kemiallisesti, mädätteen rejektissä voidaan saavuttaa riittävän korkeat fosforipitoisuudet, jotta struviittisaostus on mahdollista ja kannattavaa. Rejektiveden kemiallisen saostuksen seurauksena syntyy struviittia ja kalsiumfosfaattia. Struviitin kiteytysmenetelmän olennaisia tekijöitä ovat kemikaalin lisäys ja pH:n nosto. Kemikaalina käytetään usein magnesiumhydroksidia, jolla saadaan fosfori poistumaan rejektistä struviittina. Lämpötilan nostolla voidaan nopeuttaa kiteiden muodostamista. (Smith & Scott, 2005, s. 415; Sääluoto, 2018, ss. 8–9)

Fosfori sitoutuu alumiiniin tai rautaan kemiallisessa fosforinpoistoprosessissa. Struviitin valmistaminen edellyttää biologista fosforinpoistokäistelyä laitoksella. Biologinen menetelmä, kuten anaerobinen mädätysprosessi vapauttaa polyfosfaattia, nostattaen samalla fosfaatti-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet. (Sääluoto, 2018, s. 8)

Struviitin liukenevuus veteen on vähäinen, joten lannoitteena sen on tutkittu olevan myös hidasliukoinen. Toisaalta tutkimukset puoltavat struviitin olevan hyvä fosforin lähde

kasveille. Lopputuotteena struviitti soveltuu sellaisenaan lannoitteeksi. (Talboys ym., 2016; Suomen Vesilaitosyhdistys Ry, 2016, s. 42)

4.3 Kuivajakeen jatkokäsittelymenetelmät

Jätevesilietteestä muodostuvaa kuivajakea käsitellään pääasiassa termisillä menetelmillä, kuten termisellä kuivauksella ennen jätevesilietteen jatkokäsittelyä. Kuivajakeen käsittelyn tavoitteena on jätevesilietteen tilavuuden pienentäminen. Käsittelyllä pyritään saamaan talteen jätevesilietteen sisältämät ravinteet tai energia. Ravinteita voidaan ottaa talteen myös tuhkasta ja muista käsittelyssä syntyneistä sivuvirroista. (Lehtoranta ym., 2021, ss. 29–30)

4.3.1 Kompostointi

Kompostoinnissa syntyy kierrätyslannoitetta mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta. Kompostoinnin toimivuuteen tarvitaan riittävästi kosteutta ja oikea pH-pitoisuus, joiden lisäksi tarvitaan happea ja oikea lämpötila. Kosteutta on hyvä olla 50–60 prosenttia syötteen painosta, pH-arvojen ollessa 6,5–8. Kun lämpötila on 55–65 °C, happipitoisuus yli 10 prosenttia ja hiili-typpisuhde 25–23:1, kompostointiolosuhteet ovat optimaaliset mikrobien toiminnalle. Kompostointi koostuu neljästä eri vaiheesta, joita ovat mesofiilinen, termofiilinen, jäähtymis- ja kypsymisvaihe. Kompostoinnin eri vaiheissa typpi muuttuu muotoaan, josta voidaan päätellä missä vaiheessa kompostointi kulloinkin on. Valmiissa kompostissa typen muoto on liukoinen nitraatti. Liukoisen fosforin pitoisuus vähenee kompostoinnissa ja kokonaisfosforipitoisuus nousee, koska orgaanien aines hajoaa. Jätevesilietteestä valmistetussa lannoitevalmisteessa on typpeä ja fosforia sekä orgaaniseen aineeseen sitoutuneena, että liukoisessa muodossa. (Chen ym., 2011, ss. 1–4; Ruuhela, 2017, ss. 13–14)

4.3.2 Poltto

Polton keskeisenä tarkoituksena on vähentää jätevesilietteen määrää ja tuottaa energiaa. Palaessaan jätevesilietteestä muodostuu tuhkaa, savukaasuja ja lämpöä. Jätevesilietteen

haihtuvista yhdisteistä muuttuu kaasuksi noin 75 prosenttia ja lopusta muodostuu tuhkaa. Poltossa jätevesilietteen haitta-aineet saadaan tuhottua hyvin sekä jäljelle jäävästä tuhkasta on mahdollista talteenottaa fosfori. Ennen polttamista jätevesiliete kuivataan termisesti. Poltossa syntyvän tuhkan voi hyödyntää erilaisten rakennusmateriaalien kuten asfaltin, sementin tai tiilen raaka-aineena. Tuhkaa voi käyttää myös maanrakentamiseen. Lietteenpoltossa syntyvää energiaa käytetään jätevesilietteen kuivaamiseen. (Pöyry Finland Oy, 2019, ss. 62–63; Ruuhela, 2017, s. 28)

Jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuudella on merkitystä, ennen kuin sitä poltetaan. Mikäli lietteen kuiva-ainepitoisuus on alhainen (15–30 % TS), siihen voidaan lisätä tukipolttoainetta nostattamaan kuiva-ainepitoisuutta. Jätevesilietteen poltossa tuestä poistuu savukaasuna suurin osa. Fosfori sen sijaan sitoutuu polttotuhkaan, jolloin tuhkan fosforipitoisuus on 5–10 prosenttia. Menetelmät fosforin talteenottamiseksi tuhkasta ovat vielä kehitys- ja testausasteella. (Pöyry Finland Oy, 2019, ss. 62–63; Ruuhela, 2017, ss. 27–28; Lehtoranta ym., 2021, s. 33)

4.3.3 Pyrolyysi

Jätevesilietteestä saadaan lietehiiltä pyrolyysilla. Pyrolyysissa termisesti kuivattu liete kuumennetaan 350–650 °C:ssa hapettomissa olosuhteissa. Menetelmällä on mahdollista tuhota lietteessä olevia orgaanisia haitta-aineita ja samalla hygienisoida liete. Raskasmetallit konsentroituvat lietehiileen, mutta eivät ylitä lannoitevalmisteasetuksen (2019/1009) raja-arvoja. Myös lietteen fosfori konsentroituu lietehiileen. Liukoisen fosforin määrään ja liukoisen fosforin käyttökelpoisuuteen ei pyrolyysiprosessin uskota vaikuttavan. Liettehiilen osalta liukoisen fosforin käyttökelpoisuus kasveille on vielä tutkimusasteella. (Kainulainen ym., 2020; Haavisto, 2018, s. 18; Pöyry Finland Oy, 2019, ss. 46–47)

4.3.4 Kaasutus

Jätevesilietettä kaasutetaan vähähappisissa olosuhteissa ja korkeassa 500–900 °C:een lämpötilassa. Kaasutus eroaa poltosta hapen määrässä, jota kaasutuksessa on käytössä vain kolmannes polttoon verrattuna. Menetelmän tavoitteena on tuottaa energiapitoista kaasua

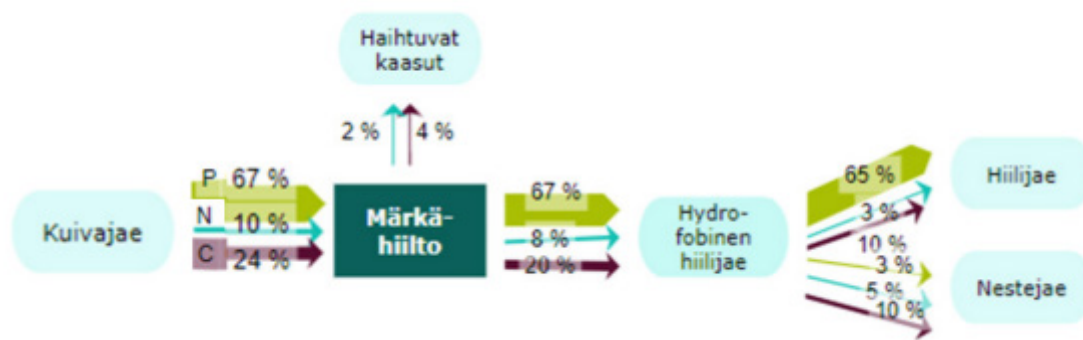
samalla laskien jätevesilietteen määrää. Kaasutusprosessi on neljävaiheinen: kuivaus, pyrolyysi, hapetus ja pelkistys. Kaasutusmenetelmiä on useita ja ne eroavat toisistaan käytettävän syötelietteen, ilman syötön ja materiaalivirtauksen osalta. Tuhkaan päätyvä fosfori on haastavasti käytettävissä, etenkin jos syötelietteessä on käytetty rautasaostetta. Orgaaniset haitta-aineet poistuvat tehokkaasti kaasutuksessa. (Lehtoranta ym., 2021, s. 34; Pöyry Finland Oy, 2019, s. 55)

4.3.5 Märkähiilto

Märkähiillossa jätevesilietteen orgaaninen aines hajoaa pienemmiksi orgaanisiksi molekyyleiksi reagoidessaan veden kanssa eli hydrolysoituu. Jätevesilietettä käsitellään korkeassa paineessa ja lämpötilassa, jossa vallitsee myös hapettomat olosuhteet. Lämpötila voi olla jopa 250 °C ja lopputuotteena syntyy hiilijäätettä, joka hylkii vettä. Syntynyt hiilijäe on märkää, mikä voidaan kuivata mekaanisesti, jolloin saavutetaan 50–70 prosentin kuiva-ainepitoisuus. Lopputuotteena saadaan märkähiilosta kuivattua hiilijäätettä, typpipitoista nestejäätettä ja kaasua. Kuivattu hiilijäe voidaan pelletöidä, mikä helpottaa pölyävän hiilen käsittelyä ja varastointia. (Pöyry Finland Oy, 2019, ss. 34–35; Lehtoranta ym., 2021, s. 37)

Kuvan 5 mukaisesti märkähiilestä kuivaamalla erotettu hiilijäe sisältää suurimman osan syötteen fosforista, joka on noin 90 prosenttia. Syötteen kokonaistypestä 35–45 prosenttia päätyy märkähiilossa kuivattuun hiilijäeeseen. Fosforia voidaan vapauttaa hiilijäeestä vesifaasiin käyttämällä rikkihappoa. Silloin fosfori voidaan imeyttää eli absorboida. Sitoutunut typpi saadaan talteen käyttämällä strippausmenetelmää, jolloin typpi voidaan talteenottaa ammoniakkinä. Märkähiillolla on lietteeseen hygienisoiva vaikutus. Korkeassa lämpötilassa orgaanista ainetta ja lääkeaineita poistuu pieniä määriä. (Lehtoranta ym., 2021, s. 37)

Kuva 5. Märkähiillon jälkeinen ravinteiden jakautuminen (Lehtoranta ym., 2021, s. 38).



Märkähiillon etuna on menetelmän nopeus. Menetelmä ei ole herkkä lämpötilojen vaihtelulle, myrkyille eikä virtausten vaihteluille. Jätevesilietettä voidaan märkähiiltää sellaisenaan tai liete voidaan ensin mädättää. Märkähiiltoon tuleva syöteliete ei välttämättä vaadi esikuivatusta, mikäli syötteen kuiva-ainepitoisuus on 8–15 prosenttia. Haasteena märkähiillossa on kuivauksessa syntyvä rejektivesi, jossa on reilusti typpeä. Typen lisäksi rejektivedessä on hiiltä ja merkittäviä määriä orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä. Sitoutunut fosfori on mahdollista vapauttaa rikkihapolla uuttamalla, jolloin fosfori päättyy rejektiin. Kehitteillä on myös muita tekniikoita, joilla saataisiin märkähiillon yhteydessä otettua hiilijakeen fosfori talteen. (Lehtoranta ym., 2021, ss. 37–38; Pöyry Finland Oy, 2019, ss. 34, 37–38)

4.4 Uudet jätevedenkäsittelyprosessit ravinnekierron tehostamiseksi

Uusia prosesseja jätevedenkäsittelyyn kehitetään aktiivisesti, sillä kiristyvät tavoitteet ohjaavat käyttämään olemassa olevia resursseja entistä tehokkaammin. Jätevedet sisältävät tärkeitä ravinteita, joiden hyötykäyttöä voidaan parantaa tulevaisuudessa, samalla vähentäen ympäristön kuormitusta. Ravinteiden talteenottomenetelmiä on testausasteella ja osasta kehitteillä olevista menetelmistä tarvitaan lisää tutkimustietoa. (Lehtoranta ym., 2021, s. 3)

4.4.1 RAVITA-prosessi

HSY:llä kehitysvaiheessa olevassa RAVITA-prosessissa jälkisaostetaan jäteveden sisältämää fosforia nestejakeesta. Jälkisaostus tehdään puhdistusprosessin loppupäässä kemikaalia apuna käyttäen, jolloin saadaan muodostumaan kemiallista sakkaa. Jälkisaostuksessa syntynyt sakka kuivataan ja kuivajae liuotetaan fosforihapolla, jolloin fosfori muuntuu liukoiseen muotoon. Syntyneen seoksen fosfori ja saostuskemikaali erotetaan toisistaan. Erotuksessa ylimäärinen fosforihappo voidaan kierrättää takaisin liuotukseen ja saostuskemikaali takaisin jälkisaostukseen. Fosfori otetaan talteen fosforihappona. Muu tuote voidaan hyödyntää lannoitteiden raaka-aineena. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, n.d.)

Puhdistusprosessissa syntyvästä lietteestä saadaan kuivauksella erotettua typpipitoista rejektiä. Rejektistä saadaan talteenotettua fosforihappomenetelmällä fosfori ja srtippausmenetelmällä typpi. Käsittelyprosessin lopputuotteena saadaan fosforihappoa, jota voidaan käyttää monipuolisesti teollisuuden kemikaalina. Toisena vaihtoehtona lopputuotteeksi on ammoniumfosfaatti, jota voidaan käyttää ravinteena sellaisenaan. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut, n.d.; Helsingin seudun ympäristöpalvelut, 2021)

4.4.2 NPHarvest

NPHarvest on Aalto-yliopiston kehittämä menetelmä, jossa lopputuotteet ovat jätevedestä esikäsittelyllä saostettu fosfori sekä puoliläpäisevän onttokuitukalvon avulla erotettu typpi. Molemmat lopputuotteet ovat sellaisenaan lannoitteeksi sopivia. (Aalto-yliopisto, 2019, s. 3)

Jätevedenpuhdistusprosessin alkupäässä fosfori saostetaan tehostetusti lisäämällä puhdistettavaan jätevetteen kalsiumkarbonaattia tai kalkkisuodinpölyä. Kalkkisuodinpölyä saadaan teollisuuden sivuvirtana kalkin tuotannosta. Esikäsittelyssä syntynyt liete on fosfori- ja kalkkipitoista. Jatkokäsittelyn jälkeen se voidaan hyödyntää mm. lannoitteena. (Lehtoranta ym., 2021, s. 47; Aalto-yliopisto, 2019, s. 3)

Nestemäisten jätejakeiden ja rejektien mukana tulevaa ammoniumtyypeä muutetaan ammoniakiksi. Muuntaminen tehdään kalsiumhydroksidin avulla nostattaen syötteen pH-tasoa. Ammoniakki erotetaan puoliläpäisevällä hydrofobisella kalvolla. Erotuksen jälkeen ammoniakki saostetaan rikkihapon avulla ammoniumsulfaatiksi. Rikkihapon sijaan menetelmässä voidaan käyttää fosforia, jolloin lopputuotteeksi muodostuu ammoniumfosfaattia. (Lehtoranta ym., 2021, s. 47; Aalto-yliopisto, 2019, s. 3)

NPHarvest-prosessissa fosfori sidotaan jätevesilietteeseen. Fosforin lisäksi lietteeseen sitoutuu kalkkia, jolloin fosforin käyttökelpoisuus kasveille paranee. Syöttestä on mahdollista saada talteen suuria osuuksia ravinteita. Ravinteista ammoniumtyypeä voidaan saada talteen 80–99 prosenttia ja fosforia 90–99 prosenttia. Vielä on kehitteillä menetelmä, jolla saadaan fosfori talteen syntyneestä sakasta. Haasteena menetelmälle on nestejake, jossa on korkea pH, mikä pitää kierrättää takaisin jätevesien käsittelyyn. (Lehtoranta ym., 2021, s. 47; Aalto-yliopisto, 2019, s. 18)

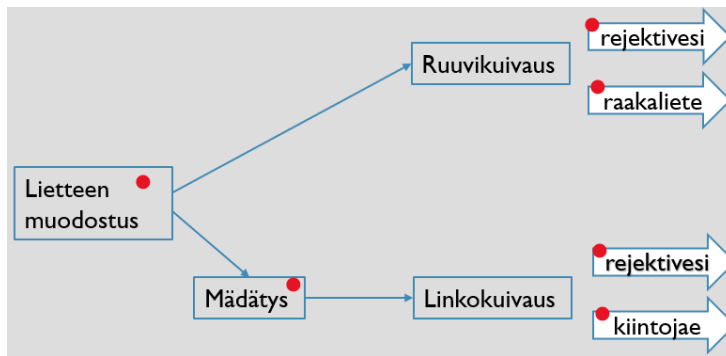
5 Materiaalit ja menetelmät

Tässä osiossa esitellään tämän työn kokeellisessa vaiheessa käytetyt materiaalit ja menetelmät. Valittujen materiaalien ja menetelmien pohjalta pyritään saamaan vastaus tutkimuksen keskeisiin kysymyksiin.

5.1 Näytteenotot ja näytteet

Näytteenottokohdat ovat merkattuina punaisilla pisteillä kuvaan 6. Näytteet otettiin seuraavista kohdista: lietteen laskeutuksesta, lietteen mädätyksestä sekä kuivausmenetelmien jälkeeseen muodostuneista kuiva- ja nestejakeista. HS-Vedellä näytteenottoa oli useampia, sillä jätevesilietettä käsitellään mädättämällä ja linkokuivaamalla sekä laskeutettua lietettä ohjataan suoraan ruuvikuivaukseen. Riihimäen puhdistamolla käsittelymenetelmänä oli käytössä kahden mädättämön mädätys ja linkokuivaus kahdella lingolla.

Kuva 6. Näytteenottokohdat.



Näytteet koodattiin puhdistamon nimen lyhenteellä ja näytepäivän mukaan sekä lyhentämällä kunkin näytteen nimi kirjainyhdistelmällä taulukon 1 mukaisesti. Näytteenottoajankohdat sovittiin etukäteen jätevedenpuhdistamoiden kontaktihenkilöiden kanssa.

Taulukko 1. Näytteiden koodaus, näytepäivät ja näytteenottokohdat.

Koodi	Selite	Koodi	Selite
HS	HS-Veden puhdistamo	RV	Riihimäen puhdistamo
D1	keskiviikko 26.5.	D1	keskiviikko 2.6.
D2	maanantai 31.5.	D2	maanantai 14.6.
D3	maanantai 7.6.		
LL	laskeutettu liete	LL	laskeutettu liete
Mä	mädätetty liete	Mä	mädätetty liete
KJ	kuivajae	KJ	kuivajae
RL	raakaliete	LR	lingon rejekti
LR	lingon rejekti		
RR	ruuvin rejekti		

Nestemäiset näytteet, kuten laskeutettu liete, mädätetty liete ja rejektit otettiin pulloihin. Kuivajakeet kerättiin pakasterasioihin. HS-Vedeltä laskeutettu liete- ja mädäthenäytteet otettiin näytelinjan letkun päästä. Ennen varsinaista näytteenottoa näytelinja tyhjennettiin, jolla varmistettiin tuoreen näytteen saanti. Kuivajakeet otettiin ruuvikuivaimeilta useammasta kohdasta ja lingon kuivajae näyte otettiin katoksen alla olevan lietekasan useasta eri kohdasta.

Riihimäen Veden puhdistamolta tiivistetty liete- ja mädäthenäytteet laskettiin isosta putkesta ämpäriin, josta sekoitettu näyte kaadettiin pulloon. Ensimmäisenä näytteenottopäivänä oli

käytössä kaksi mädättämöä sekä molemmat lingot. Kuivajaenäytteet ja rejektivesiäytteet otettiin molemmilta lingoilta. Linkoihin johdettu mädäte tulee varastosäiliöstä, jossa kahden mädättämön poisteet sekoittuvat. Oletuksena, että linkoihin jakaantuva mädäte on ominaisuuksiltaan yhdenmukainen. Toisena näytepäivänä käytössä oli ainoastaan isompi mädättämö ja uudempi linko, joista näytteet otettiin. Toisena näytepäivänä toiminnassa oleva mädättämö oli otettu käyttöön noin kuukautta ennen näytteenottoja. On mahdollista, että mädättämön toimita ei ollut vielä näytteenottohetkillä täysin vakiintunutta. Toisena näytepäivänä jätevedenpuhdistuksen alkupäässä käytetty saostuskemikaali, ferrosulfaatti oli loppumaisillaan, jolloin fosforin saostuminen lietteeseen on mahdollisesti vähäisempää.

Näytteet olivat heterogeenisiä, mikä tuli huomioida jokaisen analyysivaiheen aikana. Ennen jokaista analyysia näytteitä sekoitettiin, jotta saataisiin edustava näyte analyysiin.

Näytteiden laimennustarve vaihteli näytteittäin ja analyyseittäin. Tarkemmat laimennuskertoimet on esitetty liitteessä 4/1.

5.2 Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen

Jätevesilietteen kuiva-ainepitoisuus määritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti. Standardi on nimeltään veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Kuiva-ainemäärittäminen aloitettiin taaraamalla tyhjät upokkaat. Tyhjiä ja koodattuja upokkaita hehkutettiin tunti muhveliuunissa 550 °C:ssa, minkä jälkeen ne jäähdytettiin eksikaattorissa. Jokainen upokas punnittiin tyhjänä analyysiväällä kirjaten aloituspaino ylös. Upokkaaseen punnittiin haluttu määrä näytettä. Näytteen määrään vaikutti ensitieto siitä, kuinka kuiva-ainepitoista näyte oli. Jo silmämääräisesti pystyi arvioimaan etukäteen, että kuivajakeissa on kuiva-ainetta nestemäisiä jakeita enemmän. Laskeutettua lietettä ja mädätettä punnittiin enemmän kuin kuivattua lietettä. Rejektivettä lisättiin upokkaaseen runsaasti, kuitenkin niin, että upokkaan käsittely oli vielä helppoa. (Suomen standardisoimisliitto, 1990, ss. 12)

Näytteitä haihdutettiin kuivaamalla lämpökaapissa 20 tuntia 105 °C:ssa. Näytteitä jäähdytettiin noin tunti eksikaattorissa, jonka jälkeen ne punnittiin. Punnitustulos kertoi näytteen kuiva-aineen massan (TS, Total Solids). Kuiva jäännös laitettiin hehkutusuuniin 550 °C:seen kahdeksi tunniksi, jolloin jäljelle jäi näytteen epäorgaanisen aineksen massa, jota

kutsutaan hehkutusjäännökseksi ja tuhkaksi. Hehkutusuunin jälkeen näytteet jäädytettiin eksikaattorissa ja punnittiin jäähtyneinä. (Suomen standardisoimisliitto, 1990, s. 2)

Lietteen kuiva-ainepitoisuus (%) laskettiin kaavan 1 mukaisesti

$$TS = \frac{(m_2 - m_1)}{m} * 100 \% \quad \text{Kaava 1}$$

jossa TS on kuiva-ainepitoisuus (%)
 m_1 on upokkaan massa (g)
 m_2 on upokkaan ja kuivatun näytteen yhteenlaskettu massa (g)
 m on tuorenäytteen massa (g)

Lietteen hehkutusjäännös eli tuhkapitoisuus (%) laskettiin kaavan 2 mukaisesti

$$\text{hehkutusjäännös} = \frac{m_3 - m_1}{m} * 100 \% \quad \text{Kaava 2}$$

jossa m_1 on upokkaan massa (g)
 m_3 on upokkaan ja hehkutusjäännöksen yhteenlaskettu massa (g)
 m on tuorenäytteen massa (g)

Lietteen hehkutushäviö eli orgaanisen aineen (VS, Volatile Solids) pitoisuus (%) laskettiin TS- ja hehkutusjäännöspitoisuuksien erotuksena kaavan 3 mukaisesti

$$VS = TS - \text{hehkutusjäännös} \quad \text{Kaava 3}$$

5.3 Typen määrittäminen

Jätevesilietejakeiden tyyppiä määritettiin menetelmällä, joka perustuu standardiin SFS 5505, jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen, modifioitu Kjeldahl-menetelmä. Kjeldahl-menetelmässä näytteen sisältämä orgaaninen aine hajotettiin rikkihappopoltossa, jonka katalysaattorina käytettiin kuparia, Kjeldahl-tablettia. (Suomen standardisoimisliitto, 1988, s. 1)

Lasiset Kjelttech-putket (kuva 7) valmisteltiin numeroimalla ne juoksevin numeroin 1-20. Analyysissa käytettiin aina kaikkia putkia, jotta poltossa ei olisi tyhjiä kohtia. Näytteiden lisäksi valmistettiin jokaiselle analyysikerralle nollanäyte sekä standardinäyte. Putkiin lisättiin pieni lusikan kärjellinen kiehumakiviä. Alkuvalmistelujen jälkeen viileässä säilytetyt näytteet punnittiin ja lisättiin lasiputkiin. Laskeutettua lietettä, mädätettä ja kuivajakeita punnittiin pienempi määrä (1–3 g/putki), rejektejä suurempi määrä (15–25 g/putki). Näytteiden päälle lisättiin 50 ml ionivaihdettua vettä, minkä jälkeen jokaiseen näyteputkeen lisättiin Kjeldahl-katalyyttitabletti. Näytteet siirrettiin kuvan 7 osoittamassa kehikossa vetokaappiin rikkihappolisäystä varten. Jokaiseen putkeen lisättiin varovasti 8 ml väkevää rikkihappoa (H_2SO_4). Rikkihappolisäyksen jälkeen näyteputket alkoivat kuumentua, sillä rikkihappo aiheuttaa voimakkaan eksotermisen reaktion veden kanssa (New Boliden, 2006, s. 6). Kuumentuneet putket nostettiin polttolaitteeseen ja niiden päälle asetettiin kaasunpoistokansi. Polttolaite esilämmitti itseään noin tunnin verran. Polttolaitteessa seosputkia kuumennettiin eli poltettiin $370\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen, jossa polttoa pidettiin yllä 1,5 tunnin ajan. Polton aikana syntyvää rikkihappohöyryä poistettiin rikkihappopesurilla. Pesurissa oli kiinni kaksi eri liuosta, ionivaihdettu vesi ja 15 prosenttinen natriumhydroksidiliuos.

Kuva 7. Typpianalyysiin valmisteltavat lasiputket.



Näyteputkien jäähtyttyä aloitettiin titraus. Titrauslaite, Kjeltec 8400, valmisteltiin pesuohjelmalla, nollanäytteellä ja standardinäytteellä. Kokonaistypen analysoinnissa tulokseksi saatiin näytteessä oleva kokonaistypen määrä milligrammoina. Tuloslaskentaa varten koneen antama tulos jaettiin näytteen määrällä, jolloin tulokseksi saatiin kokonaistyyppipitoisuus [milligrammaa typpeä per näytegramma, mgN/g].

Liukoisien typen määritys vaati esikäsitteilyä. Liete- ja kuivajakeet uutettiin veteen (1+5), minkä jälkeen ne sentrifugattiin. Liuosnäytteet sentrifugattiin laimentamattomina. Sentrifugauksessa (10 min, 10 000 rpm) erottunut supernatantti imusuodatettiin. Suodoksesta määritettiin liukoinen tyyppi kokonaistypen määritysmenetelmällä kuten aikaisemmin. Tuloksena saatiin liukoisien typen pitoisuus.

Ammoniumtyyppipitoisuuden määrittämiseen valmistettiin putket lisäämällä näyte (1–5 g/putki) ja ionivaihdettu vesi (50 ml/putki). Näyteputkien lisäksi tehtiin nolla- ja standardinäyteputki. Titrauslaite valmistettiin titrausta varten pesuputkilla, nollanäytteellä ja standardinäytteellä. Ammoniumtyyppiä määritettäessä kirjattiin näytemäärä laitteeseen, joka antoi tuloksena ammoniumtyyppipitoisuuden [mgN/g]. Nitraattityppi määritettiin Hach Langen valmisputkimenetelmällä LCK 339. Kuivajakeista nitraattityypin määrittämiseen käytettiin sentrifugattua nestejätettä, joka suodatettiin. Näyteputkessa sekoitettiin näytettä 1 ml ja 2,6-dimetyylifenolia 2 ml (Hach, 2019). Nitraattityypin määrittämiseen käytettiin DR 2800 spektrofotometriä.

5.4 Fosforin määrittäminen

Kokonaisfosforimääritys perustui standardiin SFS 3026. Menetelmällä voidaan määrittää jätevesistä kokonaisfosforipitoisuus. Standardin mukaan näytteet voivat olla suodattamattomia tai kalvosuodatettuja näytteitä. Kokonaisfosfori voidaan määrittää suodattamattomasta näytteestä. Kiintoaineeseen sitoutunut fosfori saadaan laskettua kokonaisfosforin ja liukoisien fosforin erotuksella. Liukoinen fosfori saadaan määritettyä kalvosuodatuksesta saadusta suodoksesta. Kokonaisfosforimäärityksessä näytteeseen sitoutunut fosfaatti hapetetaan, jolloin se muuttuu ortofosfaatiksi happamissa olosuhteissa. (Suomen standardisoimisliitto, 1986, s. 1)

Fosforin määrittäminen aloitettiin valmistamalla tarvittavat reagenssit ja määrittämällä fosforin standardisuora. Ionivaihdetun veden lisäksi määrittämiseen tarvittiin kahta eri vahvuista rikkihappoa sekä kaliumperoksidisulfaattiliuosta, askorbiinihappoliuosta ja molybdaattireagenssia. Kaikkia käsiteltäviä näytejakeita laimennettiin. Vähiten laimennosta vaativat reaktiiviset ja suurimmat laimennokset vaativat kuivatut lietejakeet. Kuivattua

lietettä punnittiin noin 1,5 grammaa, joka sekoitettiin pienessä määrässä vettä tehosekoittimella noin minuutin ajan. Sekoitettu vesi ja kuivajaseos laimennettiin litraksi, josta pipetoitiin 25 ml, joka taas laimennettiin litraksi. Näin saadut laimennuskertoimet olivat jopa 25 000. Laskeutetun lietteen ja mädätteen laimennuskertoimet olivat 1000–2000, nestejakeiden laimennuskertoimet maksimissaan 60, jopa laimentamattomia. Kuvassa 8 ovat kuuden eri näytejakeen laimennetut liuokset autoklaavausta varten.

Kuva 8. Kokonaisfosforimäärityksen laimennusliuoksia.



Laimennetuista näytteistä pipetoitiin 25 ml näytettä autoklaavipulloihin, joihin lisättiin 5 ml peroksidisulfaattiliuosta. Näytteiden lisäksi valmistettiin nollanäyte. Näytteet autoklaavattiin 200 kPa:n paineessa 30 minuuttia ja lämpötila oli 120 °C. Näytteiden jäähtymisen jälkeen määrittäminen aloitettiin pipetoimalla näytteisiin 1 ml askorbiinihappoliuosta ja sekoitettiin magneettisekoittajalla. Puolen minuutin päästä pipetoitiin 1 ml molybdaattireagenssia ja sekoitettiin. Fotometrinen määrittäminen tehtiin aikaisintaan 10 minuutin ja viimeistään 30 minuutin kuluttua viimeisestä sekoituksesta. Aallonpituutena käytettiin 880 nm.

Liukoista fosforia määritettäessä näytteet esikäsiteltiin uuttamalla ja suodattamalla vastaavasti kuin liukoisen tyypin määrittämisessä on kuvattu. Liukoinen fosfori määritettiin jakeiden suodoksesta kokonaisfosforimäärityksellä.

6 Analyysitulokset ja niiden tarkastelu

Kaikki tämän työn analyysitulokset on koottu liitteisiin 1–4. Tässä luvussa on esitetty näytteiden keskiarvotulokset ja niiden hajonnat havainnollisesti ja vertailevasti. Tulokset esitellään seuraavassa järjestyksessä: kuiva-ainetulokset, typpitulokset ja fosforitulokset.

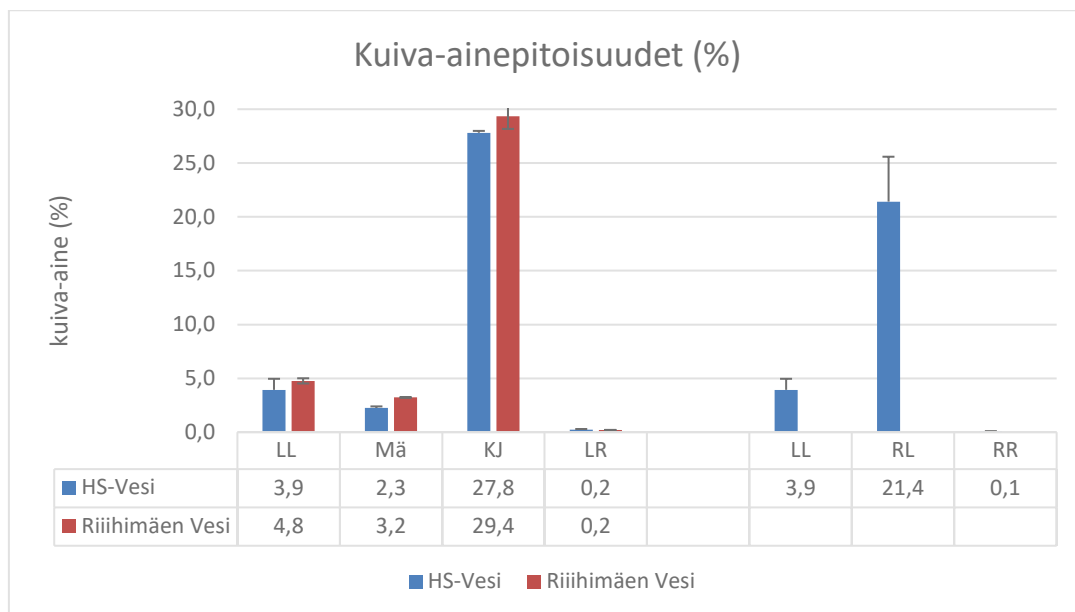
6.1 Kuiva-ainetulokset

Kaikista näytteistä tehtiin kuiva-ainemääritys ja tulokset ovat koodattuina liitteeseen 1.

Kuvassa 9 on esitetty näytteiden kuiva-ainepitoisuudet puhdistamoittain. HS-Veden kuiva-ainepitoisuuden tulokset esitetään kolmena päivänä otettujen näytteiden keskiarvotuloksena ja keskihajontana.

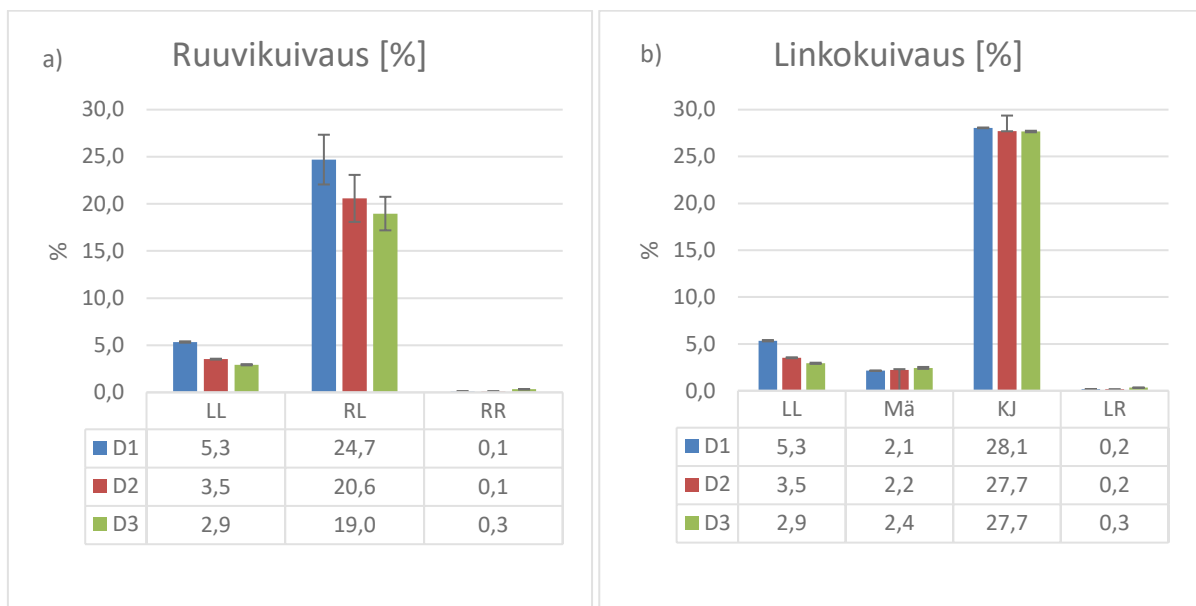
Riihimäen puhdistamon tulos on kahden näytepäivän tuloksista laskettu keskiarvo ja niiden keskihajonnat. Riihimäen puhdistamolla eri lietejakeiden kuiva-ainepitoisuudet olivat hieman HS-Veden arvoja korkeampia. HS-Vedeltä ruuvikuivauksesta erottuvan raakalietteen kuiva-ainepitoisuus oli selkeästi alhaisempi kuin lingolta syntyvän mädätteen kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus. Raakalietteen kuiva-ainepitoisuuksissa keskihajonta oli huomattavaa.

Kuva 9. Kuiva-ainepitoisuudet HS-Veden ja Riihimäen puhdistamojen eri näytejakeissa.

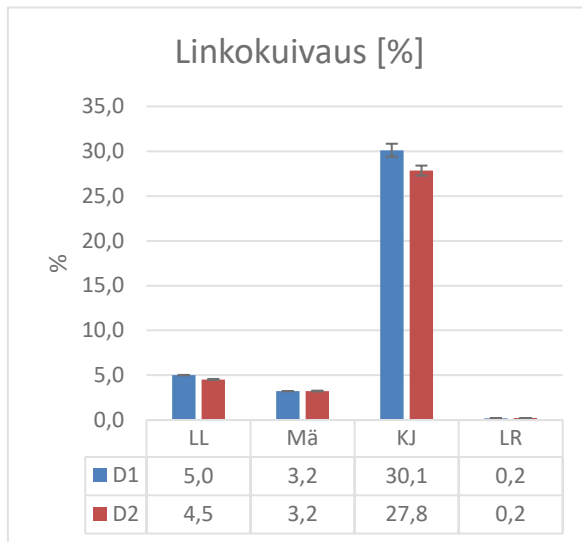


Päivien välinen tulosvaihtelu kuiva-ainepitoisuuksissa näkyy puhdistamokohtaisissa tarkasteluissa kuvissa 10 ja 11. HS-Veden kuiva-ainepitoisuudet näytteenottopäivinä vaihtelivat eniten laskeutetussa lietteessä ja pienintä vaihtelua oli mädätteessä ja mädätteen kuivajakeessa. Ruuvikuivauksessa syntyvän raakalietteen kuiva-ainepitoisuus on suurempi, mitä kuivempaa laskeutettu liete kuivaukseen mennessä on, kuten kuvassa 10 ilmenee. Raakalietteen kuiva-ainepitoisuuksien tuloksissa ilmeni hajontaa jokaisella näytekeralla. HS-Vedellä linkokuivauksen tuloksissa ei ole suuria poikkeamia näytepäivien välillä. Suurin eroavaisuus on toisen näytepäivän mädätyn lietteen ja mädätteen kuivajakeen hajonnoissa. Riihimäen puhdistamolla suurin kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu oli mädätteen kuivajakeessa, joka esitellään kuvassa 11.

Kuva 10. Kuiva-ainepitoisuudet ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa, HS-Vesi.

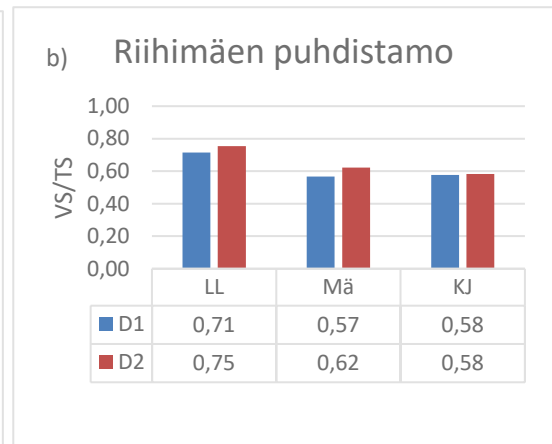
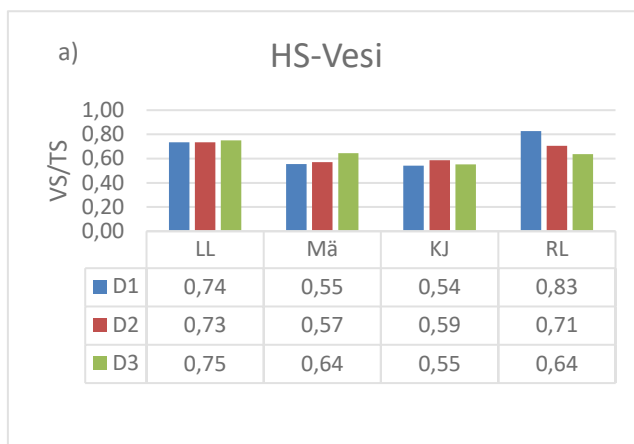


Kuva 11. Kuiva-ainepitoisuudet mädätyksen ja linkokuivauksen jakeissa, Riihimäen puhdistamo.



Kuvassa 12 esitellään puhdistamojen VS/TS-suhdejakauma näytteittäin. VS/TS-suhde kertoo orgaanisen aineen osuuden kuiva-aineessa. Suurimmat vaihtelut ilmenivät HS-Veden näytteissä, raakalietteessä ja lingon rejektissä. VS/TS-tarkasteluun ei ole otettu mukaan rejektivesien tarkastelua, sillä niiden kuiva-ainepitoisuudet ovat hyvin pienet. Rejektivesistä saatujen tulosten pienellä epätarkkuudella voi olla merkittävät vaihtelut tuloksissa.

Kuva 12. HS-Veden (a) ja Riihimäen puhdistamon (b) näytejakeiden VS/TS-pitoisuuksien suhde näytepäivittäin.



Liittessä 1 olevista tuloksista laskettiin kuiva-ainevähenemä mädättämössä kaavan 4 mukaisesti

$$TS - \text{vähenemä} [\%] = \frac{TS_{LL} - TS_{Mä}}{TS_{LL}} * 100 \quad \text{Kaava 4.}$$

jossa TS_{LL} on laskeutetun lietteen kuiva-ainepitoisuus, %

$TS_{Mä}$ on mädätetyn lietteen kuiva-ainepitoisuus, %

Taulukossa 2 on laskettuna TS-vähenemän tulosvaihtelut näytepäivittäin. HS-Veden TS-vähenemät on laskettuna näytepäivän arvoilla, kun taas tasetarkastelussa käytetty TS-vähenemä on laskettu keskimääräisillä kuiva-ainepitoisuuksilla. Suurimman ja pienimmän ero vähenemässä oli merkittävä. HS-Vedeltä saamien tietojen mukaan keskimäärinen TS-vähenemä vuonna 2020 oli 28 %. Riihimäen puhdistamolla analyysin saatu TS-vähenemän vaihteluväli oli Järkki-hankkeen tuottaman materiaalin mukainen (25–35 %).

Taulukko 2. Kuiva-ainevähenemät näytepäivittäin HS-Vesi ja Riihimäen puhdistamo.

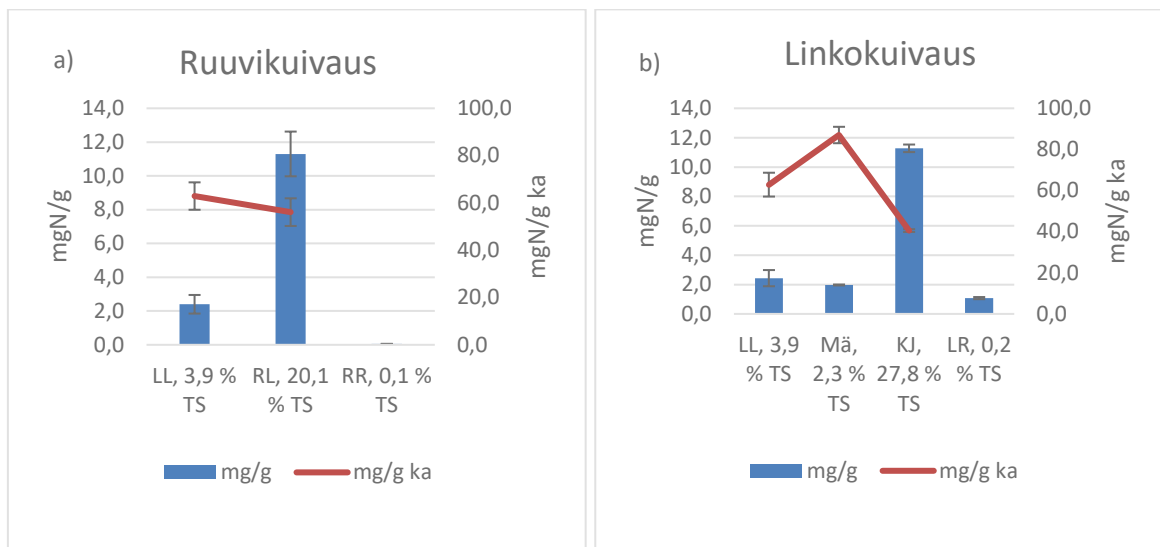
TS-Vähenemä [%]				
HSD1	HSD2	HSD3	RVD1	RVD2
59,9	36,8	16,7	35,7	28,6
Keskiarvoilla laskettuna:			Keskiarvoilla laskettuna:	
42,3			32,3	

6.2 Typpitulokset

Tässä luvussa esitetään analyysin määritetyt typpitulokset näytegrammaa ja kuiva-ainegrammaa kohden. Graafiseen esitykseen on laskettu näytteiden keskihajonta. Tuloksissa ei esitetä typpipitoisuuksia rejektivesissä kuiva-ainetta kohden, koska rejektivesien kuiva-ainepitoisuus on erittäin alhainen ja pienikin hajonta rejektin kuiva-ainepitoisuuden tuloksessa vaikuttaa merkittävästi typpipitoisuusarvoon kuiva-ainetta kohti. Kuvassa 13 on esitettyä HS-Veden ruuvikuivauksen sekä mädätyksen ja linkokuivauksen jakeiden kokonaistyppipitoisuudet. Korkeimmat typpipitoisuudet ovat kuivatuissa lietejakeissa. Linkokuivauksessa mädätteestä erottuu paljon rejektia. Vaikka rejektin kokonaistyppipitoisuus on maltillinen, määrä kertaantuu rejektin massavirran ollessa suuri.

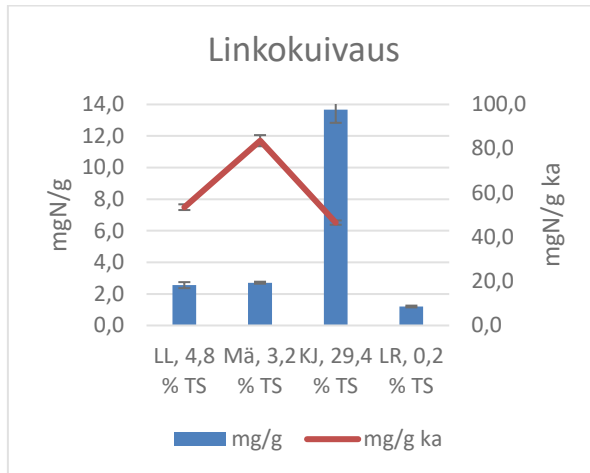
Kuiva-ainetta kohden eniten kokonaistyyppiä on mädätetyssä lietteessä. Mädätyksessä osa kuiva-aineesta hajoaa biokaasuksi ja kokonaistyyppi konsentroituu, jolloin sen pitoisuus kuiva-ainetta kohden nousee mädätettäessä.

Kuva 13. Kokonaistyyppipitoisuudet ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa, HS-Vesi.



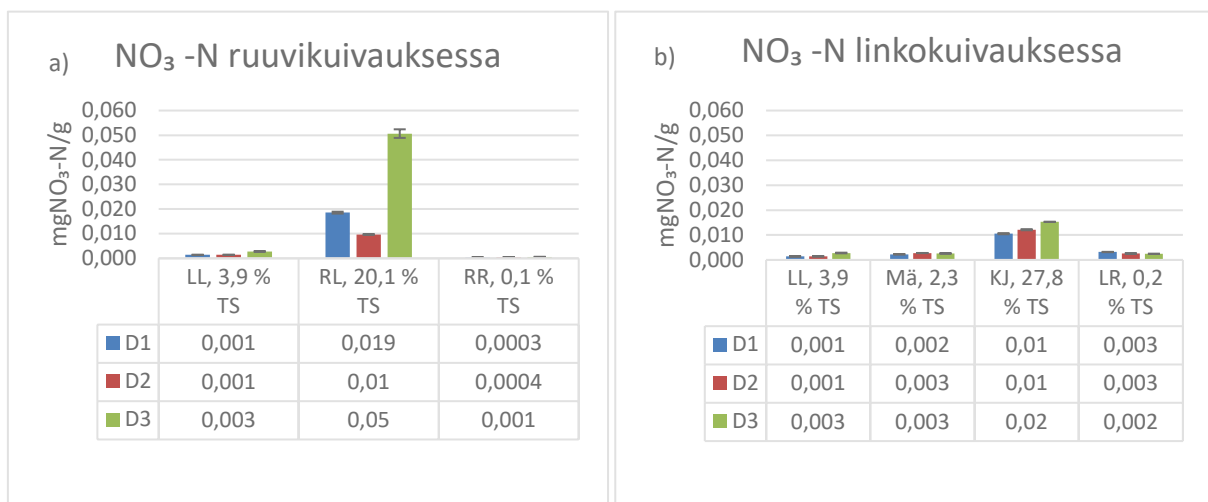
Riihimäen puhdistamon kokonaistypen pitoisuudet näytepainoa ja kuiva-ainepainoa kohden esitetään kuvassa 14. Riihimäen puhdistamolla mädätteessä oleva kokonaistyyppipitoisuus on hieman HS-Veden arvoja korkeampi, mutta kuiva-ainetta kohden matalampi. Kuivajakeessa oleva kokonaistyyppipitoisuus näytettä ja kuiva-ainetta kohden on Riihimäen puhdistamolla korkeampi.

Kuva 14. Kokonaistyyppipitoisuudet mädätyksen ja linkokuivauksen jakeissa, Riihimäen puhdistamo.

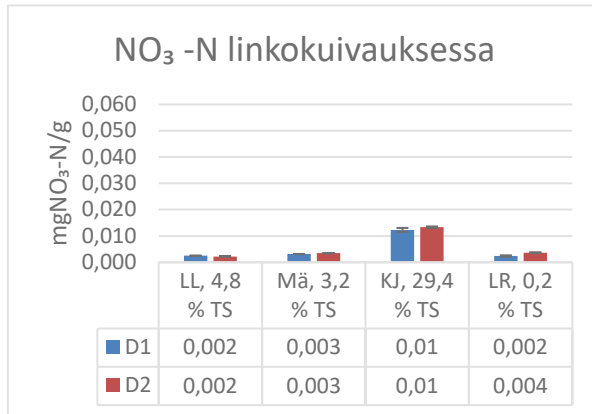


Puhdistamolietteiden nitraattipitoisuudet esitetään kuvissa 15 ja 16. Ruuvikuivauksen raakalietteessä nitraattipitoisuuksien vaihtelu eri näytepäivien välillä oli suuri. Linkokuivauksen kuivajakeessakin nitraattipitoisuus vaihtelee hieman. Riihimäen puhdistamon tuloksissa ei mädätteen kuivajakeen kohdalla ole suurta näytepäivien välistä eroa.

Kuva 15. Nitraattityyppipitoisuudet ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa, HS-Vesi.

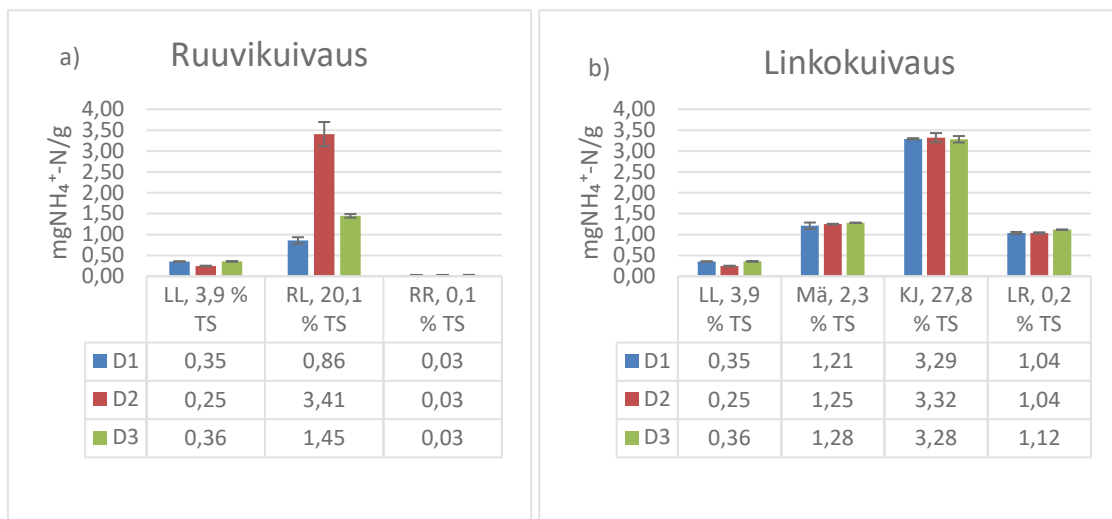


Kuva 16. Nitraattityppipitoisuudet mädätyksen ja linkokuivauksen jakeissa, Riihimäen puhdistamo.

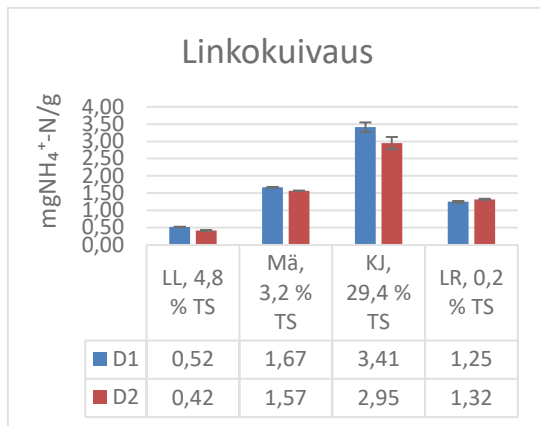


Ammoniumtyppipitoisuuksissa (kuvat 17 ja 18) suurimmat päiväkohtaiset vaihtelut ovat raakalietteessä. Toisena näytepäivänä ammoniumtyppipitoisuuksissa on huomattava poikkeava, eikä analyyseistä suoraan löytynyt vastausta, miksi oli niin poikkeava.

Kuva 17. Ammoniumtyppipitoisuudet ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa, HS-Vesi.



Kuva 18. Ammoniumtyppipitoisuudet linkokuivauksen jakeissa, Riihimäen puhdistamo.

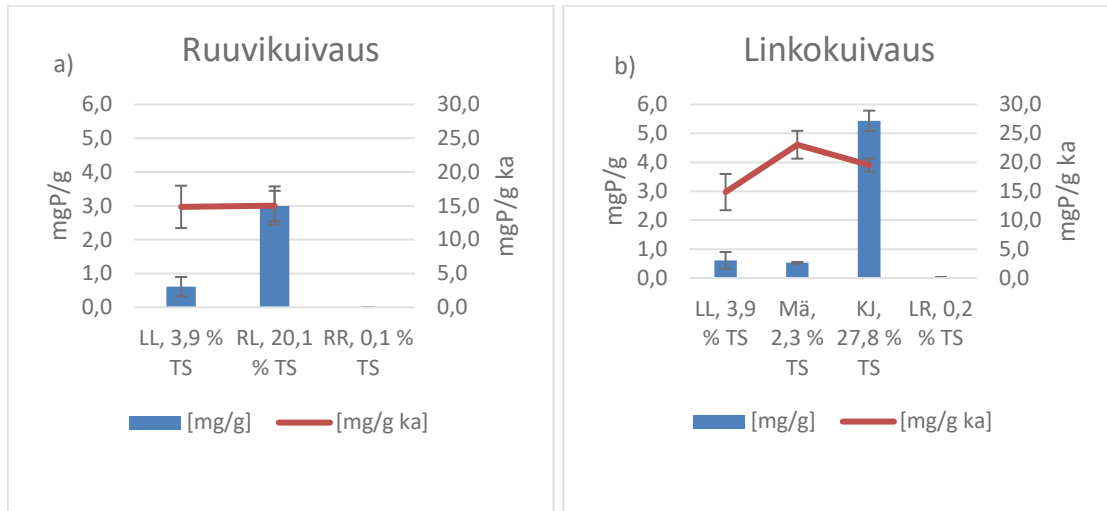


Näytejakeista määritettiin liukoisen typen pitoisuudet. Tuloksien uskotaan olevan epäluotettavia, eikä niitä esitetä tässä kohtaa työtä. Epäluotettavia tuloksia saatiin etenkin raakalietteen ja kuivajakeen osalta. Myös muissa jakeissa liukoisen typen pitoisuus jäi ammoniumtypen pitoisuuksiin alhaisemmaksi. Liukoisen typen määrittäminen etenkin kuivatuille lietteille ei ollut sopiva tai analyysin läpiviennissä on tapahtunut systemaattinen virhe. Liukoisen typen tulokset ovat liitessä 2.

6.3 Fosforitulokset

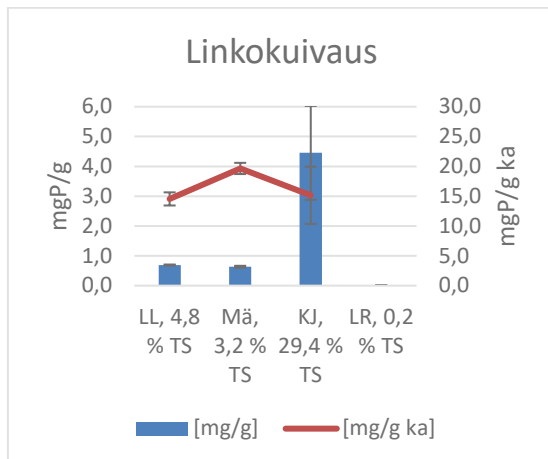
Näytteiden fosforitulokset esitetään näytegrammaa ja kuiva-ainegrammaa kohden. Kuvassa 19 on esitettyä HS-Veden ruuvikuivauksen sekä mädätyksen ja linkokuivauksen eri jakeiden kokonaisfosforipitoisuudet. Niin ruuvikuivauksessa kuin linkokuivauksessa, suurin osa kokonaisfosforista jää raakalietteeseen ja kuivajakeeseen. Vain häviävän pieni osa kokonaisfosforista poistuu rejektiveden mukana. Mädätyksessä kokonaisfosfori konsentroituu, jolloin sen pitoisuus kuiva-ainetta kohden nousee mädätteessä.

Kuva 19. Kokonaisfosforipitoisuudet ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa , HS-Vesi.



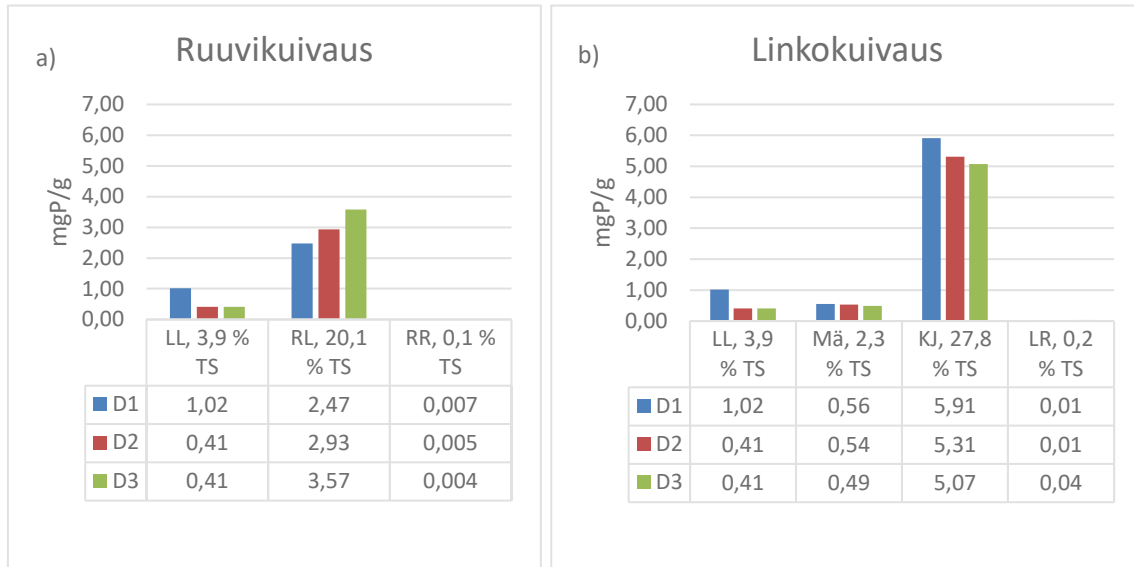
Riihimäen puhdistamolla kokonaisfosforipitoisuus näytettä ja kuiva-ainetta kohden ovat hieman HS-Veden tuloksia alhaisemmat. Yhtenä tekijänä tähän eroon voi olla ferrosulfaatin vähyyys toisena näytepäivänä.

Kuva 20. Kokonaisfosfori mädätyksen ja linkokuivauksen jakeissa Riihimäen puhdistamo.



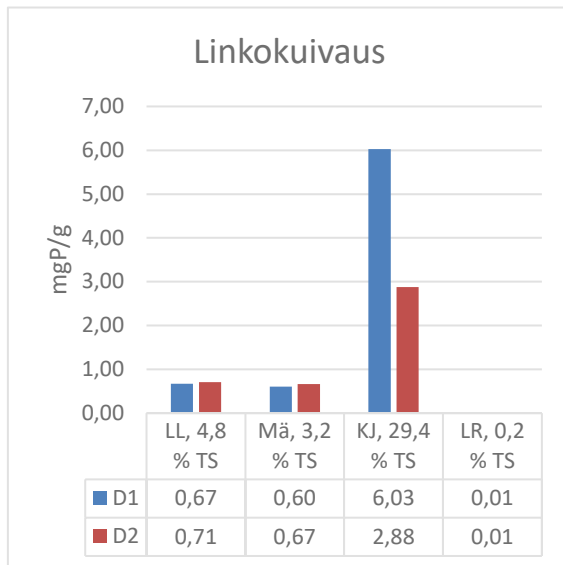
Kuvissa 21 ja 22 tarkastellaan kokonaisfosforipitoisuuksien näytepäiväkohtaista vaihtelua. Samasta näytteestä pipetoitiin rinnakkaiset määritykset kyvetteihin, jolloin näytekohtaista keskihajontaa ei juurikaan tuloksiin tullut. Näytepäivien välisiä eroja on havaittavissa etenkin raakalietteen osalta ja kuivajakeen osalta.

Kuva 21. Kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelu ruuvikuivauksen (a) sekä mädätyksen ja linkokuivauksen (b) jakeissa, HS-Vesi.



Erityisesti Riihimäen puhdistamon toisen näytepäivän kuivajakeen kokonaisfosforipitoisuus on romahtanut (kuva 22). Tulosta puoltaa ferrosulfaatin vähyyys, joka vähentää fosforin saostumista lietteeseen. Tarkastaeltaessa kokonaisfosforipitoisuutta kuivajakeessa kuiva-ainetta kohden voidaan todeta, että kokonaisfosforipitoisuus toisena näytepäivänä on alhaisempi. Riihimäen puhdistamolla näytepäivän RVD1 mädätteen kuivajakeessa kokonaisfosforipitoisuus oli 19,94 mgP/g TS, kun RVD2 vastaava pitoisuus on 10,34 mgP/g TS. Lisää fosforituloksia on koottuna liitteeseen 3.

Kuva 22. Kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelu mädätyksen ja linkokuivauksen jakeissa, Riihimäen puhdistamo.

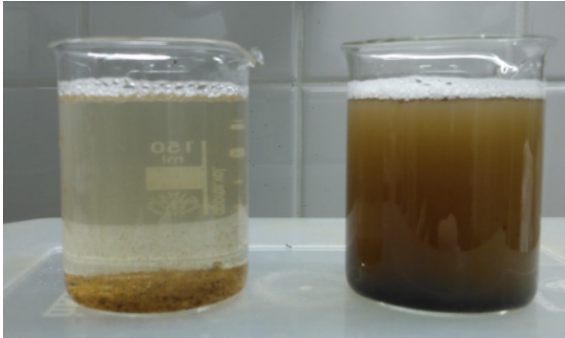


6.4 Tulosten arviointi

Tulosten arviointia toteutetaan tasetarkasteluilla, joilla pyritään vastaamaan opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin ravinteiden jakautumisesta. Tarkasteluun lasketut tasealueet on laskettu analyysitulosten ja laitokselta saatujen virtaustietojen perusteella. Tässä kappaleessa havainnollistetaan laskettuja kokonaismassa-, kuiva-aine-, typpi- ja fosforitaseita.

Linkokuivauksessa erottuneen rejektin kuiva-ainepitoisuus on suurempi kuin ruuvikuivauksesta. Mädättämössä jätevesilietteen olomuoto muuttuu hienojakoisemmaksi ja lingolta erottunut rejekti on peräisin mädätteestä. Mädätteen rejektiin erottuu enemmän pieniä hiukkasia, kiintoaines on huonommin laskeutuvaa ja rejekti on sameampaa kuin ruuvikuivaimen rejekti. Kuvissa 23 ja 24 esitellään kuvin HS-Veden näytteitä. Kuvassa 23 on vasemmalla ruuvikuivauksesta erottunut rejektivesi ja oikealla on mädätteen linkokuivauksesta erottunut rejektivesi.

Kuva 23. Ruuvikuivauksesta erottunut raakalietteen rejekti (vas.) ja mädätteen linkokuivauksesta erottunut rejekti (oik.), HS-Vesi.



Ruuvikuivauksesta erottunut rejekti oli silminnähden kirkkaampaa kuin mädätteestä erottunut rejekti. Ruuvijätkän seassa oli selkeästi havaittavia suspendoituneita hiukkasia, jota laskeutui näyteastian pohjalle. Laskeutuminen alkoi välittömästi sekoituksen loputtua, jolloin osanäytteen ottamisen kanssa piti olla nopea. Kolmen näytepäivän kolmen rinnakkaisen näytteen keskihajonnan perusteella voidaan todeta, että sekoitus ei ole onnistunut tasapuolisesti, eikä analyyseihin käytetty näyte ollut homogeeninen ja edustava. Kuvassa 24 vasemmassa kuvassa on laskeutettua lietettä ja mädätettyä lietettä HS-Veden puhdistamolta. Keskimmäisenä kuvassa raakalietettä ja oikeanpuolimmaisena mädätteen kuivajaa.

Kuva 24. Eri lietejakeita: laskeutettu liete, mädätetty liete, kuivattu raakaliete ja mädätteen kuivajae.



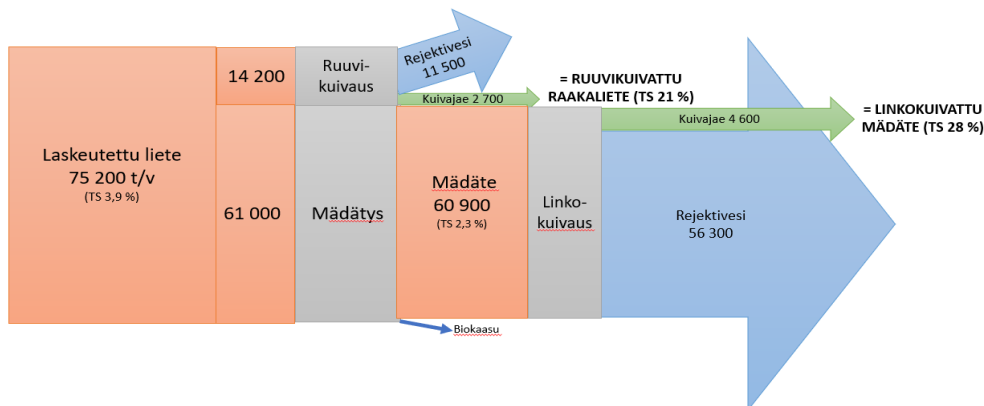
6.4.1 Massatase

Massataseet laskettiin omien analyysitulosten ja laitokselta saatujen tietojen pohjalta. HS-Vedeltä saatiin lähtötietoina vuotuinen ruuvikuivaukseen ohjatun lietteen (3,2 % TS) määrä ja mädätetyn lietteen (2,3 % TS) lingolle menevä määrä. HS-Vedeltä saatiin myös massatiedot ruuvikuivauksessa muodostuvasta raakalietteestä ja lingolta muodostuvasta kuivajakeesta. Kuivaukseen menevästä syötteestä vähennettiin kuivajakeen osuus, jolloin saatiin laskettua poistuvan rejektiveden määrä. Laskeutetun lietteen määrän laskennassa huomioitiin mädättämön TS-reduktio. HS-Veden mädättämön TS-reduktiona käytettiin tässä työssä saatua kolmen näytepäivän tuloksista laskettua keskiarvoa (41 %), joka oli hieman korkea verrattuna HS-veden omiin tuloksiin (28 %).

Laskennan tuloksena saatu HS-Veden kokonaismassavirtaukset on esitetty kuvassa 25.

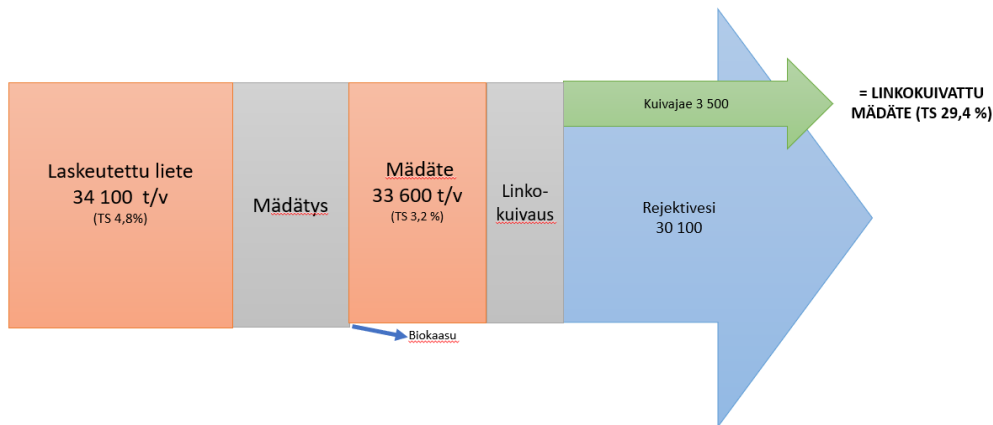
Ruuvikuivaukseen ohjataan laskeutetusta lietteestä noin viidennes ja loput jätevesilietteestä käsitellään mädättämällä.

Kuva 25. HS-Veden lietteenkäsittelyn massatase [tonni/vuosi].



Riihimäen puhdistamon massatase-laskennan lähtötietona oli linkokuivaukseen menevän mädätteen vuotuinen määrä ja mädätteen kuiva-ainepitoisuuksien vaihteluväli (2,6–3,5 % TS). Massatase laskettiin kuiva-ainepitoisuudella (3,2 % TS), joka saatiin tämän työn kuiva-ainemäärittysten tulokseksi (kuva 26). TS-reduktioksi Riihimäen puhdistamon mädättämössä saatiin 33 %, minkä avulla laskettiin vuotuinen laskeutetun lietteen määrä.

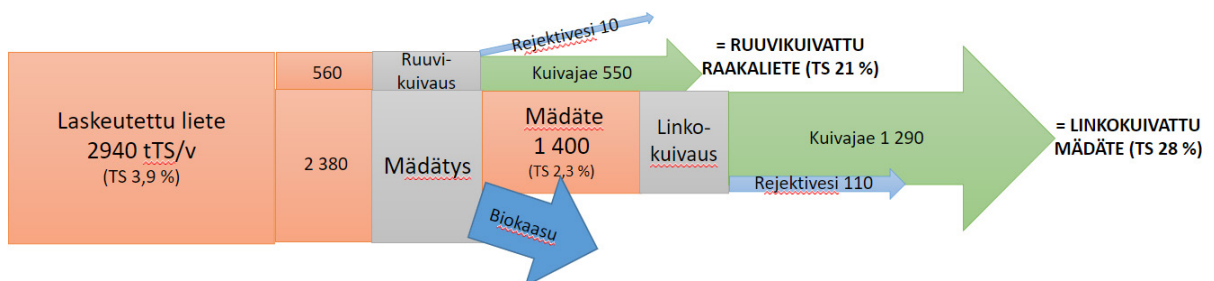
Kuva 26. Riihimäen puhdistamon lietteenkäsittelyn massatase [tonni/vuosi].



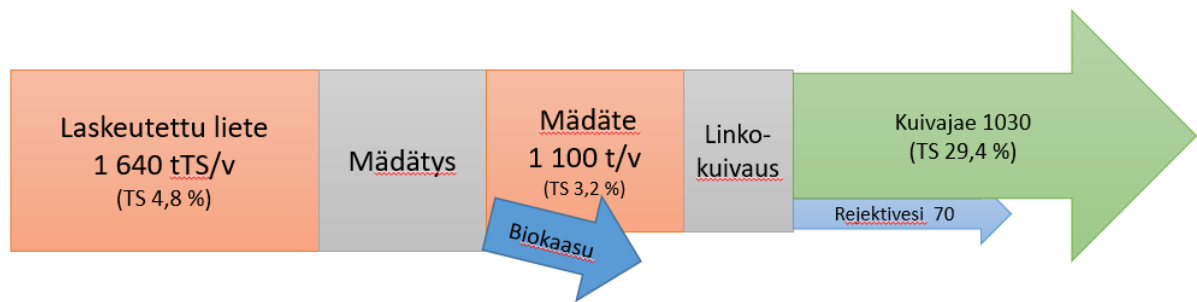
6.4.2 Kuiva-ainetase

Kuivaainemäärityksistä saatujen tulosten ja massavirtojen avulla laskettiin kuiva-ainetaseet. Kuvaan 27 on laskettuna HS-Veden kuiva-ainemäärät tonneina vuodessa. Lähtötietona saatiin HS-Vedeltä kuiva-ainetaseen laskentaan kuivatun mädätetyn lietteen määrä ja kuivatun mädätetyn lietteen kuiva-ainepitoisuus. Tiedoksi saatiin myös raakalietteen määrä ja raakalietteen kuiva-ainepitoisuus. Laskeutun lietteen ruuvikuivauskäsittelyssä ei häviä kuiva-ainetta. Mädätyksessä kuiva-ainesta hajoaa biokaasun muodostumiseen, koska osa orgaanisesta aineesta muuttuu biokaasuksi. Jäljelle jää epäorgaaninen aines ja hajoamaton orgaaninen aines, jotka johdetaan linkokuivaukseen. Kuvassa 28 Riihimäen puhdistamon kuiva-ainetase.

Kuva 27. HS-Veden lietteenkäsittelyn kuiva-ainetase [tonni TS/vuosi].



Kuva 28. Riihimäen puhdistamon lietteenkäsittelyn kuiva-ainetase [tonni TS/vuosi].

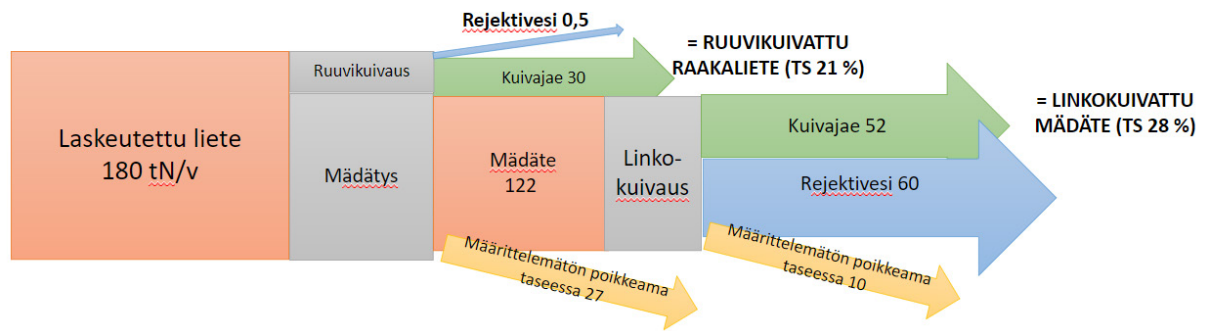


6.4.3 Typpitase

Typpitaseet laskettiin kokonaistyyppimääritystulosten perusteella. Taseiden laskemiseen muutettiin näytteen kokonaistyyppitulos [mg/g] kokonaistyyppipitoisuudeksi [%], joka kerrottiin kyseisen jakeen kokonaismassalla. Lisäksi laskettiin määritystulosten perusteella liukoisen ja kokonaistypen suhde jokaisessa lietejakeessa erikseen.

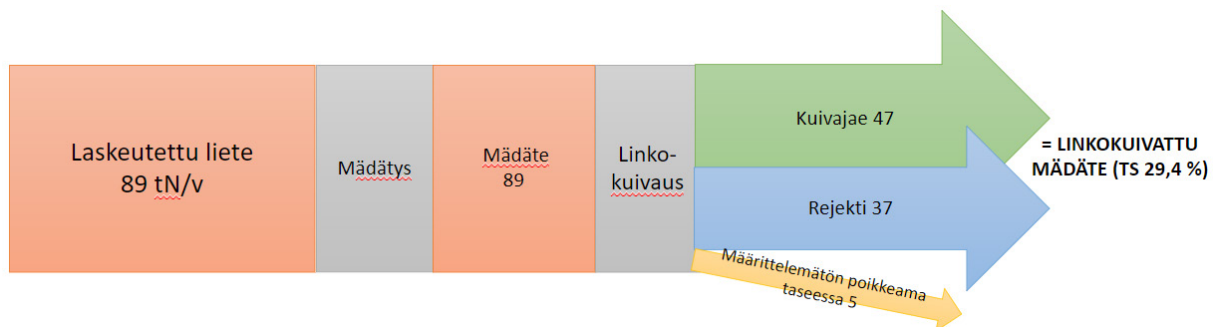
HS-Veden typpitaselaskennan tulos on esitetty kuvassa 29. HS-Vedellä jätevesilietteen mukana lietteen käsittelyyn päätyy typpeä 180 tonnia vuodessa. Käsittelyprosesseissa 30 tonnia typpeä päätyy ruuvikuivauksessa raakalietteeseen ja ruuvikuivauksessa rejektiveteen typpeä poistuu hyvin pieni osuus. Mädätetyssä lietteessä on typpeä 122 tonnia vuodessa. Mädätykseen tulleet ravinteet säilyvät mädätyksessä ja päätyvät mädätteeseen. Ravinteiden pitoisuus kuiva-ainetta kohti kasvaa, koska kuiva-ainetta poistuu mädätyksessä. Kuten edellä esitetyt analyysitulokset osoittivat, liukoisen typen eli ammoniumtypen määrä ja osuus kokonaistypestä kasvaa mädätyksessä. Tämän työn tasetarkastelu kuitenkin osoitti, että taseeseen jää määrittelemätön typpihäviö mädätyksessä ja ruuvikuivauksessa (yhteensä 27 tonnia). Vastaava poikkeama tasessa todettiin myös linkokuivauksessa (10 tonnia).

Kuva 29. HS-Veden lietteenkäsittelyn tyypitase [tonni N/vuosi].



Riihimäen puhdistamon (kuva 30) kokonaistyyppitaseessa ilmenee myös määrittelemätön poikkeama linkokuivauksen yhteydessä, mutta ei mädätyksessä. Tyypitaseessa suurin osa rejektiin päätyvästä tyypestä on liukoista tyypeä. Kuivajakeeseen päätyvä typpi on sellaisessa muodossa, että se vaatii jatkokäsittelyä, jotta esimerkiksi kasvien olisi mahdollista hyödyntää sitä.

Kuva 30. Riihimäen puhdistamon lietteenkäsittelyn tyypitase [tonni N/vuosi].

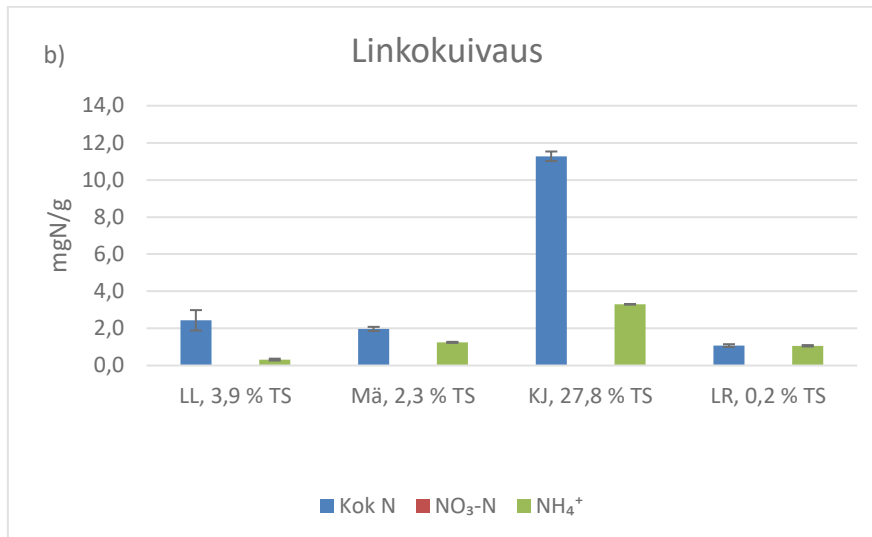
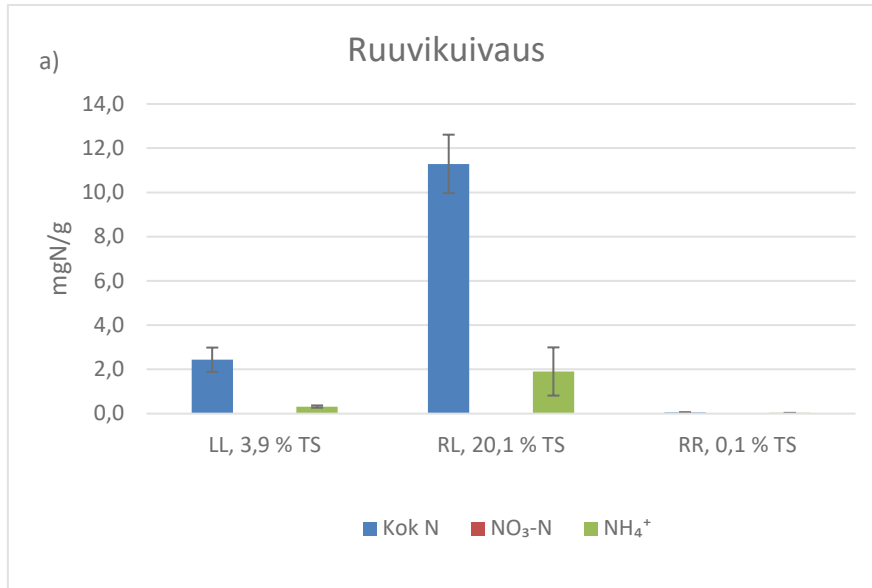


Laskeutettua lietettä kuivattaessa ruuvikuivaimella lähes kaikki typpi päätyy raakalietteeseen (kuva 29). Ruuvikuivauksen kuivajakeeseen päätyvä typpi on suurimmalta osalta liukenematonta tyypeä. Hyvin pieni osa kokonaistyypeistä päätyy ruuvikuivauksesta rejektiveteen. Typpituotteen jalostuksen näkökulmasta tämä tarkoittaa, että raakalietteen mukana saadaan hyvin tyypeä talteen. Kuvien 29 ja 30 taseet osoittavat, että kokonaistyypeistä päätyy mädätteen linkouksesta syntyvien rejektivesien mukana puhdistamolle uudelleen puhdistettavaksi suuria määriä.

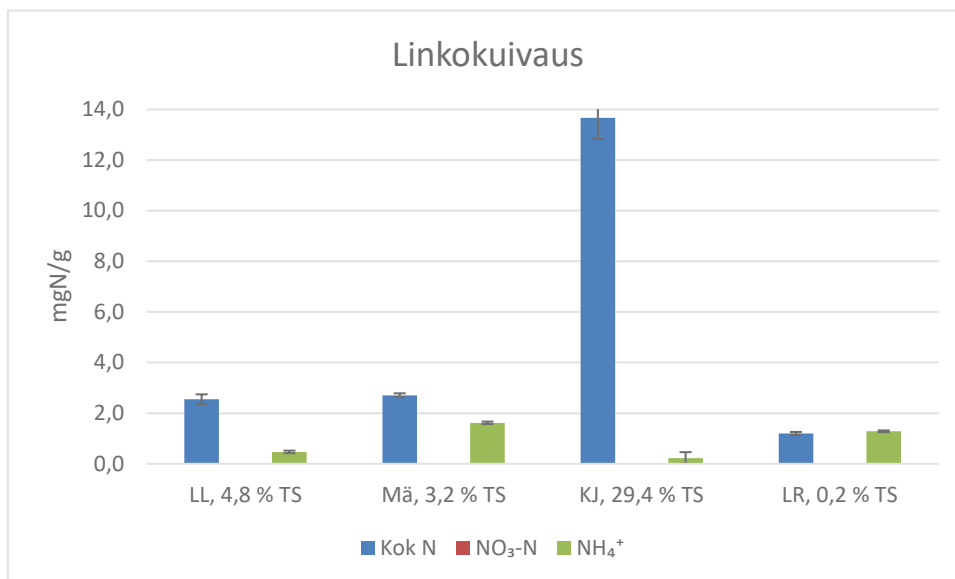
Kuvaan 31 on koottu eri tyypin olomuodot rinnakkain hahmottamaan liukoisen tyypin osuutta kokonaistyyppipitoisuudesta. Nitraattityypin osuus on hyvin pieni jokaisessa lietejakeessa,

mutta ammoniumtyypen pitoisuudet vaihtelevat. Suurempia pitoisuuksia ilmenee raakalietteessä sekä mädätteen kuivajakeessa. Riihimäen puhdistamon tyypen jakautuminen eroaa HS-Veden tuloksista. Riihimäellä mädätteen ammoniumtyyppipitoisuus on suurempi kuin mädätteen kuivajakeessa (kuva 32).

Kuva 31. Kokonais-, nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet eri lietejakeissa (a) ja (b), HS-Vesi.



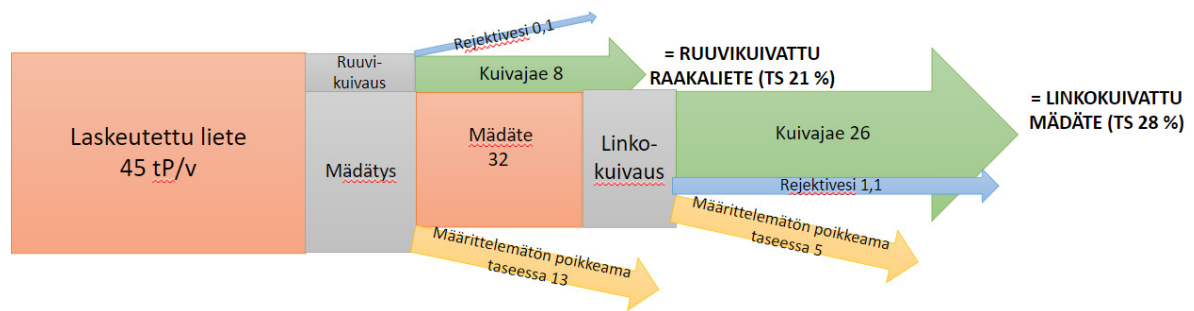
Kuva 32. Kokonais-, nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet eri lietejakeissa, Riihimäen puhdistamo.



6.4.4 Fosforitase

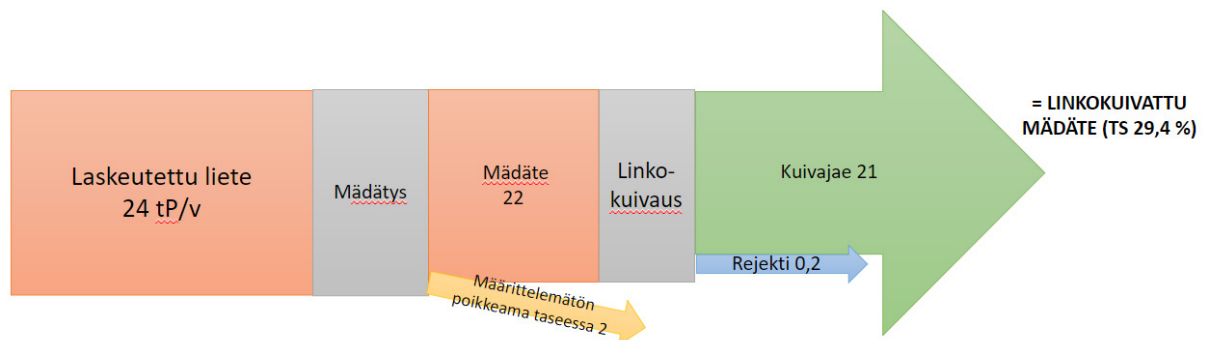
Kuvissa 31 ja 32 esitetyt fosforitaseet on laskettu tässä työssä saatujen tulosten mukaan. Tässä työssä saadut fosforipitoisuudet olivat alhaisempia kuin tyypillisesti laitoksilla saadut pitoisuudet. HS-Veden antaman tiedon mukaan mädätteen kuivajakeessa kokonaisfosforipitoisuus on tyypillisesti 3,3 % TS, kun määrityksellä saatiin 1,8-2,1 % kuiva-ainetta kohden. Laskettuna kokonaisfosforipitoisuudella 3,3 % TS, HS-Vedellä mädätteen kuivajakeen fosforimääräksi saadaan tulokseksi noin 40 tonnia/vuodessa. Todellisuudessa fosforitaseet voidaan olettaa olevan huomattavasti suurempia, kuin mitä seuraavat taseet osoittavat.

Kuva 33. HS-Veden lietteenkäsittelyn fosforitase [tonni P/vuosi].



Riihimäen puhdistamon fosforitase on laskettu kuvaan 34. Riihimäen puhdistamon mädätteen kuivajakeessa kokonaistyyppiä on tyypillisesti 3,1 % TS, kun määrityksellä saatiin 1,0-2,0 % kuiva-ainetta kohden. Määrityksen arvoilla saadaan mädätteen kuivajakeen kokonaisfosforimääräksi 21 tonnia. Tasetta tarkasteltaessa tyypillisellä kokonaistyyppipitoisuudella, mädätteen kuivajakeen kokonaisfosforipitoisuudeksi saadaan noin 31 tonnia.

Kuva 34. Riihimäen puhdistamon lietteenkäsittelyn fosforitase [tonni P/vuosi].



Mädätyksessä ravinteiden kokonaismäärä säilyy. Kuvien 33 ja 34 perusteella mädättämön syötteessä olevasta fosforista kaikki ei päädy mädätteen kuivajakeeseen eikä rejektiveteen. On syntynyt poikkeamaa eli määrittelemätöntä häviötä.

Tulosten luotettavuuden parantamiseksi olisi järkevää määrittää samoilla menetelmillä useampia näyte-eriä, useampana ajankohtana. Silloin mahdollinen määritysvirhe pystyttäisiin paremmin selvittämään. Huomiota herättävää taselaskuissa on se, että typen ja fosforin häviöt toistuvat samoissa kohdissa HS-Vedellä. Häviötä ilmenee niin mädätyksen

kuin ruuvikuivauksen jälkeen. Riihimäen puhdistamolla puolestaan fosforin ja typen häviöt ovat eri kohdissa.

7 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin jätevesistä puhdistamolietteeseen päätyvien pääravinteiden (typpi ja fosfori) käyttäytymistä lietteenkäsittelyssä puhdistamolla. Jäteveden puhdistusprosessissa muodostuvat lietteet johdetaan puhdistamolla lietteenkäsittelyyn, jonka alussa on lietteen sedimentointi eli laskeuttaminen, josta saadaan laskeutettua lietettä. Tässä työssä tehty ravinnetarkastelu keskittyi tämän laskeutetun lietteen ravinteiden käyttämiseen lietteiden mekaanisessa kuivauksessa sellaisenaan tai mädätettynä.

Työssä otettiin lietenäytteitä kahdelta puhdistamolta. Molemmilla puhdistamoilla lietteenkäsittelynä oli mädätys ja mädätetyn lietteen linkous. Toisella puhdistamolla oli lisäksi käytössä lietteen ruuvikuivaus ilman mädätystä eli raakalietteen kuivaus. Näytteistä analysoitiin kuiva-aine, typpi- ja fosforipitoisuuksia. Analyysitulosten ja laitoksilta saatujen tietojen pohjalta tehtiin lietteenkäsittelyjen tasetarkastelua.

Näytteiden analyysituloksissa esiintyi jonkin verran hajontaa. Etenkin fosforin osalta todettiin merkittävää poikkeamaa laitoksilla rutiinisti seurattaviin tuloksiin verrattuna. Hetkelliset näytteenotot ja vain kaksi tai kolme näytteenottokertaa olivat todennäköisesti yksi merkittävä syy tulosten hajontaan. Analyysituloksista ja tasetarkasteluista voidaan vetää kuitenkin selkeät johtopäätökset, jotka toistuivat vastaavasti molemmilla puhdistamoilla.

Yleisesti voidaan todeta, että jätevesilieteteissä kiintomuodossa olevat ravinteet on mahdollista saada puhdistamolla talteen mekaanisen kuivauksen kuivajakeeseen. Kuivajae voidaan kuljettaa keskitetyn käsittelyn piiriin ja saadaan sen sisältämät ravinteet kiertoon. Tämä toteutuu hyvin fosforin osalta, koska fosfori on pääosin kiintomuodossa lietteessä. Typen talteenotossa sen sijaan on vaihtelua, kuten tämä työkin osoitti.

Jäteveden puhdistusprosessista syntyvässä laskeutetussa lietteessä typpi on pääosin kiintomuodossa. Laskeutetun lietteen mekaanisessa kuivauksessa typpi on otettavissa talteen raakalietteen kuivajakeeseen. Ruuvikuivauksella saadaan pienennettyä jatkokäsittelyyn menevää lietemäärää huomattavasti poistamalla siitä ylimääräinen vesi. Raakalietettä on kevyempi kuljettaa ja sitä on helpompi varastoida, koska raakaliete on laskeutettua lietettä tiiviimmässä muodossa.

Mädätettäessä laskeutettua lietettä, lietteen sisältämää typpeä liukoistuu, jolloin se päätyy rejektiveteen ja palautuu kuormittamaan jäteveden puhdistusprosessia. Rejektiveteen päätyy sitä enemmän liukoisia ravinteita, mitä kuivemmaksi mädätettyä jätevesilietettä kuivataan. Näin mädätteen kuivajakeen mukana talteen saatavan typen määrä on merkittävästi pienempi kuin raakalietteen mukana talteen saatava typpimäärä.

Tuloksiin pohjautuen ravinteiden talteenoton maksimoimiseksi on perusteltua kuljettaa mekaanisesti kuivattu raakaliete keskitettyyn isomman kokoluokan biokaasulaitokseen ennemmin kuin käsitellä lietettä puhdistamokohtaisella mädättämöllä, jossa etenkin rejktivedessä olevan typen talteenotto on taloudellisesti haastavaa. Tämä puoltaa Järkki-hankkeen tavoitetta saada jätevesilietteiden ravinteet keskitetyn, kestävän lietteenkäsittelyn piiriin.

Lähteet

Aalto-yliopisto. (2019). *NPHarvest -hankkeen loppuraportti*.

Aalto-yliopisto. (n.d.). *Viemärointi ja jäteveden käsittely*. <https://docplayer.fi/42452068-Viemarointi-ja-jateveden-kasittely.html>

Berninger, K., Pihl, T., Kasanen, P., Mikola, A., Tynkkynen, O. & Vahala, R. (2017). *Jätevesien fosfori hyötykäyttöön: teknologioita ja ohjauskeinoja*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80670/62_Jatevesienfosforihotykykayttoon_30082017.pdf

Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A. & Falen, C. (2011). *The Composting Process*. Idaho: University of Idaho. <http://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/CIS/CIS1179.pdf>

Ek, F. (2013). *Biokaasun tuotanto maatilalla*. Helsinki: Motiva.

https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Ervasti, S., Winqvist, E. & Rasi, S. (2018). *Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä – tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuusarvio*. Luonnonvarakeskus.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-532-5>

Gasum Biovakka Oy. (2016). *Jätevesityypen talteenotto ja hyödyntäminen kierrätysravinteena*.

Haavisto, M. (2018). *Puhdistamolietepohjaisten kierrätyslannoitteiden käytön esteet ja keinoja esteiden poistamiseksi*. Prizztech Oy.

Hach. (2019). *LCK 339 Nitrate*.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (2021). *Fosfori talteen jätevedestä ja vähemmän typpeä Itämereen*. <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/fosfori-talteen-jatevedesta-ja-vahemman-typpea-itamereen/>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (n.d.). *RAVITA-prosessi*.

<https://www.hsy.fi/ravita/prosessi/>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (2016). *Rejektiveden käsittelyn biologiset ja fysikaaliskemialliset vaihtoehdot -hanke*. HSY.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. (2021). *Fosfori talteen jätevedestä ja vähemmän typpeä Itämereen*. <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/fosfori-talteen-jatevedesta-ja-vahemman-typpea-itamereen/>

Hyvärinen, P. (2017). *Miten rejektivedet kannattaa käsitellä?*

<https://vesiteknologia.com/2017/03/09/miten-rejektivedet-kannattaa-kasitella/>

Kainulainen, A., Rasa, K. & Kinnunen, V. (2020). *Lietehiilihanke -tuloksia ja tulevaa*.

https://ym.fi/documents/1410903/42721411/2_Lietehiili_Kainulainen.pdf/69dc51dd-8870-fa0e-687c-9086d672e075/2_Lietehiili_Kainulainen.pdf?t=1603875135071

Kangas, A., Lund, C., Liuksia, S., Arnold, M., Merta, E.;Kajolinna, T., Carpén, L., Koskinen, P. & Ryhänen, T. (2011). *Energiatehokas lietteenkäsittely*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

<http://hdl.handle.net/10138/37060>

Karttunen, E. (2004). RIL 124-2 *Vesihuolto II*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto, RIL R.Y.

Kemin energia ja vesi. (n.d.). *Jätevesien käsittely*.

<https://www.kenve.fi/palvelut/vesi/jatevesien-kasittely/>

Keränen, T. (2018). *Puhdistamolietteellä kasvatettu ruoka ei mene enää kaupaksi -kuluttaja ei halua syödä viemäriin laskemiaan aineita*. <https://yle.fi/uutiset/3-10148145>

Kymäläinen, M. (2015). *Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktorissa*. Teoksessa *Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen* (ss. 59–81). HAMK.

Laitinen, J., Alhola, K., Manninen, K. & Säylä, J. (2014). *Puhdistamolietteen ja biojätteen käsittely ravinteita kierrättäen*. Suomen ympäristökeskus SYKE.

Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen, R. & Toivikko, S. (2014). *Pakas käyttökelpoinen tekniikka (BAT) Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot*. Suomen ympäristöministeriö.

<http://hdl.handle.net/10138/43199>

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. (2021). *Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti*. Suomen ympäristökeskus.

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5390-7>

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. (2001). *Lietteiden käsittely: uudet ja käytössä olevat tekniikat*. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Luonnonvarakeskus. (2019). *Kaikki irti lannasta: opas hyvään lannankäsittelyyn*.

<https://docplayer.fi/170468594-Kaikki-irti-lannasta-opas-hyvaan-lannankasittelyyn.html>

Malila, R., Viskari, E-L. & Kallio, J. (2019). *Virtsan ravinteet kiertoon*.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/307654/SYKEra_49_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Motiva. (2018a). *Energiatehokas lietteen kuivaus*.

<https://www.motiva.fi/files/13594/ENERGIATEHOKAS LIETTEEN KUIVAUS.pdf>

Motiva. (2018b). *Energiatehokas lietteen sakeutus, mädätys ja biokaasun tuotanto*.

<https://www.motiva.fi/files/13597/ENERGIATEHOKAS LIETTEEN SAKEUTUS MADATYS JA BIOKAASUN TUOTANTO.pdf>

New Boliden. (2006). *Käyttöturvallisuustiedote*.

Paavola, T. & Kapuinen, P. (2015). *Mädätysjäännöksen käsittely ja hyödyntäminen*. Teoksessa *Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen* (ss. 94-123). HAMK.

Pihl, T. (2019). *Nyt kehitetään kiivaasti fosforin edullista talteenottoa jätevesistä*. <https://kuntatekniikka.fi/2019/02/05/vahvaa-kehitystyota-fosforin-kierratys-estaisi-rehevoitymistä-mutta-takaisi-satokauden/>

Pöyry Environment Oy. (2017). *Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys*. Sitra. <https://docplayer.fi/2417732-Lietteenkasittelyn-nykytila-suomessa-ja-kasittelymenetelmien-kilpailukyky-selvitys.html>

Pöyry Finland Oy. (2019). *Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen*. Suomen vesilaitosyhdistys ry. https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmät_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf

Ruuhela, S. (2017). *Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatuksikriteerien kehittäminen*. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-568-9>

Savonia-ammattikorkeakoulu. (n.d.). *Typpi ja typpilannoitemäärät*. https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Typpi_ja_typpilannoitem%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t.pdf

Smith, P. & Scott, J. (2005). *Dictionary of Water and Waste Management*. Butterworth-Heinemann.

Suh, Y.-J. & Rousseaux, P. (2002). *An LCA of alternative wastewater sludge treatment scenarios*. Teoksessa *Resources, Conservation and Recycling*, 191-200.

SFS 3026. (1986). *Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla*. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 5505. (1988). *Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen. Modifioitu Kjeldahl-menetelmä*. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 3008 (1990). *Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen*. Suomen standardisoimisliitto.

Suomen Vesilaitosyhdistys Ry. (2016). *Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa*. Vesilaitosyhdistys.

https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf

Suomen ympäristökeskus. (2019a). *Yhdyskuntien jätevesien kuormitus vesiin*.

[https://www.ymparisto.fi/fi-fi-kartat_ja_tilastot/vesihuoltoraportit/Yhdyskuntien_jatevesien_kuormitus_vesiin](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesihuoltoraportit/Yhdyskuntien_jatevesien_kuormitus_vesiin)

Suomen ympäristökeskus. (2019b). *Haja-asutuksen jätevesihuollon käsitteitä*.

[https://www.ymparisto.fi/fi-fi-rakentaminen/rakennushanke/talotekniset_jarjestelmat_lvi/kiinteiston_jatevesien_kasittely/syventavaa_tietoa/Puhdistamosivusto_jatevesien_kasittelymenetelmista/Kaikkien_jatevesien_kasittely/Laitepuhdistamoja_kaikille_jatevesi](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennushanke/talotekniset_jarjestelmat_lvi/kiinteiston_jatevesien_kasittely/syventavaa_tietoa/Puhdistamosivusto_jatevesien_kasittelymenetelmista/Kaikkien_jatevesien_kasittely/Laitepuhdistamoja_kaikille_jatevesi)

Suomen ympäristökeskus. (2021). *Yhdyskuntajätevesien ravinteiden turvallinen*

hyödyntäminen edellyttää uusien menetelmien käyttöönottoa. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Yhdyskuntajatevesien_ravinteiden_turvall\(60262\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Yhdyskuntajatevesien_ravinteiden_turvall(60262))

Sääluoto, K. (2018). *Struviitin valmistus*. <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/07/Struviitin-valmistus.pdf>

Talboys, P. J., Heppell, J., Roose, T., Healey, J. R., Jones, D. L. & Withers, P. J. (2016). *Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management?* Plant Soil, 109-123.

Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. (2018). *Opas*

kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>

Tontti, T.;& Salo, T. (2013). *Puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden soveltuminen viljelyyn*. Teoksessa Pro Agria, *Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa* (ss. 6-8).

https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf

Tyrväinen, U., Toivikko, S., Paavola, T. & Vuorinen, A. (2013). *Puhdistamolietteen käsittely*. Teoksessa Pro Agria, *Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa* (ss. 28-33).

https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf

Vesitalous. (2020). *Fosforin poistaminen kunnallisista jätevesistä onnistuu aiempaa kemikaalittomammin*. <https://vesitalous.fi/2020/06/fosforin-poistaminen-kunnallisista-jatevesista-onnistuu-aiempaa-kemikaalittomammin/>

Vieno, N., Sarvi, M., Salo, T., Rämö, S., Ylivainio, K., Pitkänen, T. & Kusnetsov, J. (2018). *Puhdistamolietteiden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamat riskit lannoitekäytössä*.

Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-661-2>

Vuorinen, A. (2013). *Mitä puhdistamoliete on?* Teoksessa Pro Agria, *Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa* (ss. 4-5). Vesilaitosyhdistys.

https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf

Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I. & Roskosch, A. (2015). *Sewage Sludge Management in Germany*. Umwelt Bundesamt.

Zarebska, A., Nieto, R. D., Christensen, K. V., Fjerbaek Sotoft & Norddahl, B. (2014). *Ammonium Fertilizers Production from Manure: A Critical Review*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45(14), 1469-1521.

Liite 1: Kuiva-ainepitoisuudet

HS-Vesi, kuiva-aine %					
	D1	D2	D3	Keskiarvo	Keskihajonta
LL	5,3	3,5	2,9	3,9	1,0
Mä	2,1	2,2	2,4	2,3	0,1
KJ	28,1	27,7	27,7	27,8	0,2
LR	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
RL	24,7	20,6	19,0	21,4	2,4
RR	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1

Riihimäen puhdistamo, kuiva-aine %				
	D1	D2	Keskiarvo	Keskihajonta D1-D2
LL	5,0	4,5	4,8	0,24
Mä	3,2	3,2	3,2	0,01
KJ	30,1	27,8	29,4	1,19
LR	0,2	0,2	0,2	0,02

VS/TS					
HS-Vesi	[%]				
	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL	0,74	0,73	0,75	0,74	0,008
Mä	0,55	0,57	0,64	0,59	0,04
KJ	0,54	0,59	0,55	0,56	0,02
RL	0,83	0,71	0,64	0,72	0,08
LR	0,96	0,82	0,71	0,83	0,10
RR	0,75	0,60	0,66	0,67	0,06

VS/TS					
Riihimäen puhdistamo	[%]				
	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta	
LL	0,71	0,75	0,73	0,020	
Mä	0,57	0,62	0,59	0,027	
KJ	0,58	0,58	0,58	0,003	
LR	0,77	0,77	0,77	0,001	

Liite 2: Typpitulokset

HS-Vesi	D1		D2		D3		Keskiarvo		Keskihajonta	
	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka
LL	3,2	60,2	2	57,47	2,1	70,9	2,4	62,9	0,5	5,8
Mä	2	92,1	1,9	86,7	2	82,3	2,0	87,0	0,0	4,0
KJ	11,6	41,5	11,1	40	11,1	40	11,3	40,5	0,2	0,7
LR	1,1	665,2	1	571,9	1,1	672,9	1,1	636,7	0,0	45,9
RL	11,8	57,3	12,6	61,1	9,5	49,9	11,3	56,1	1,3	4,7
RR	0,06	64	0,05	54	0,04	41,97	0,1	53,3	0,0	9,0

Riihimäen puhdistamo	D1		D2		Keskiarvo		Keskihajonta	
kok. N	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka	mg/g	mg/g ka
LL, 4,8 % TS	2,7	54,8	2,4	52,2	2,6	53,5	0,19	1,30
Mä, 3,2 % TS	2,8	86,1	2,6	81,1	2,7	83,6	0,08	2,52
KJ, 29,4 % TS	14,2	47,1	12,6	45,4	13,4	46,3	0,78	0,87
LR, 0,2 % TS	1,2	641,7	1,26	595,5	1,2	618,6	0,05	23,07

Nitraattityppi					
HS-Vesi	[mg/g]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,001	0,001	0,003	0,002	0,0006
Mä, 2,3 % TS	0,002	0,003	0,003	0,003	0,0002
KJ, 27,8 % TS	0,01	0,01	0,02	0,013	0,0020
LR, 0,2 % TS	0,003	0,003	0,002	0,003	0,0003
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,001	0,001	0,003	0,002	0,0006
RL, 20,1 % TS	0,019	0,01	0,05	0,026	0,0176
RR, 0,1 % TS	0,0003	0,0004	0,001	0,000	0,0001

Nitraattityppi					
HS-Vesi	[mg/g ka]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,03	0,04	0,10	0,05	0,030
Mä, 2,3 % TS	0,11	0,12	0,11	0,11	0,008
KJ, 27,8 % TS	0,04	0,01	0,06	0,04	0,018
LR, 0,2 % TS	1,92	0,003	0,75	0,89	0,790
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,03	0,04	0,10	0,05	0,030
RL, 20,1 % TS	0,08	0,05	0,27	0,13	0,098
RR, 0,1 % TS	0,38	0,49	0,60	0,49	0,087

Nitraattityppi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	Keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,002	0,002	0,002	0,0001
Mä, 3,2 % TS	0,003	0,003	0,003	0,0002
KJ, 29,4 % TS	0,01	0,01	0,013	0,0005
LR, 0,2 % TS	0,002	0,004	0,003	0,0006

Nitraattityppi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g ka]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,05	0,05	0,05	0,0004
Mä, 3,2 % TS	0,10	0,11	0,10	0,004
KJ, 29,4 % TS	0,04	0,05	0,04	0,003
LR, 0,2 % TS	1,30	1,72	1,51	0,210

Ammoniumtyppi					
HS-Vesi	[mg/g]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	Keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,35	0,25	0,36	0,32	0,051
Mä, 2,3 % TS	1,21	1,25	1,28	1,25	0,029
KJ, 27,8 % TS	3,29	3,32	3,28	3,30	0,017
LR, 0,2 % TS	1,04	1,04	1,12	1,06	0,037
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,35	0,25	0,36	0,32	0,051
RL, 20,1 % TS	0,86	3,41	1,45	1,90	1,089
RR, 0,1 % TS	0,03	0,03	0,03	0,03	0,001

Ammoniumtyppi					
HS-Vesi	[mg/g ka]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	Keskihajonta
LL, 3,9 % TS	6,59	6,97	12,18	8,58	2,55
Mä, 2,3 % TS	56,57	56,09	52,50	55,05	1,81
KJ, 27,8 % TS	11,74	11,99	11,84	11,86	0,10
LR, 0,2 % TS	625,67	608,24	340,76	524,89	130,39
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	6,59	6,97	12,18	8,58	2,55
RL, 20,1 % TS	3,48	16,55	7,63	9,22	5,46
RR, 0,1 % TS	32,62	35,48	31,84	33,31	1,57

Ammoniumtyppi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	Keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,52	0,42	0,47	0,05
Mä, 3,2 % TS	1,67	1,57	1,62	0,05
KJ, 29,4 % TS	3,41	2,95	3,18	0,23
LR, 0,2 % TS	1,25	1,32	1,29	0,03

Ammoniumtyppi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g ka]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	10,43	9,25	9,84	0,59
Mä, 3,2 % TS	51,81	48,53	50,17	1,64
KJ, 29,4 % TS	11,32	10,59	10,96	0,36
LR, 0,2 % TS	686,50	622,47	654,49	32,02

Liukoinen typpi					
HS-Vesi	[mg/g]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,391	0,197	0,220	0,269	0,087
Mä, 2,3 % TS	1,128	1,173	1,16	1,154	0,019
KJ, 27,8 % TS	1,45	1,04	0,85	1,113	0,252
LR, 0,2 % TS	1,052	1,084	0,874	1,003	0,092
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,391	0,197	0,220	0,269	0,087
RL, 20,1 % TS	0,078	1,81	1,75	1,212	0,803
RR, 0,1 % TS	0,0328	0,0631	0,026	0,041	0,016

Liukoinen typpi					
HS-Vesi	[mg/g ka]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	7,32	5,58	7,49	6,80	0,862
Mä, 2,3 % TS	52,71	52,71	47,51	50,98	2,449
KJ, 27,8 % TS	5,17	3,77	3,05	4,00	0,879
LR, 0,2 % TS	635,09	635,280	266,97	512,44	173,579
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	7,32	5,58	7,49	6,80	0,862
RL, 20,1 % TS	0,31	8,77	9,24	6,11	4,102
RR, 0,1 % TS	36,88	72,93	26,07	45,29	20,034

Liukoinen typpi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,379	0,230	0,305	0,074
Mä, 3,2 % TS	1,308	1,272	1,290	0,018
KJ, 29,4 % TS	1,06	1,41	1,235	0,173
LR, 0,2 % TS	1,136	0,910	1,023	0,113

Liukoinen typpi				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g ka]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	7,57	5,09	6,33	1,2425
Mä, 3,2 % TS	40,61	39,35	39,98	0,6289
KJ, 29,4 % TS	3,53	5,06	4,29	0,7640
LR, 0,2 % TS	620,70	429,25	524,97	95,7273

Liite 2: Fosforitulokset

kok. P					
HS-Vesi	[mg/g]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	1,02	0,41	0,41	0,61	0,29
Mä, 2,3 % TS	0,56	0,54	0,49	0,53	0,03
KJ, 27,8 % TS	5,91	5,31	5,07	5,43	0,35
LR, 0,2 % TS	0,01	0,01	0,04	0,019	0,01
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	1,02	0,41	0,41	0,611	0,29
RL, 20,1 % TS	2,47	2,93	3,57	2,994	0,45
RR, 0,1 % TS	0,007	0,005	0,004	0,005	0,001

kok. P					
HS-Vesi	[mg/g ka]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	19,057	11,549	13,952	14,853	3,1306
Mä, 2,3 % TS	26,000	22,976	20,11	23,030	2,40
KJ, 27,8 % TS	21,08	19,17	18,34	19,530	1,15
LR, 0,2 % TS	5,416	5,161	11,897	7,491	3,12
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	19,057	11,549	13,952	14,853	3,13
RL, 20,1 % TS	12,013	14,25	18,84	15,035	2,84
RR, 0,1 % TS	7,7074	2,6281	3,773	4,703	2,18

kok. P				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,67	0,71	0,690	0,018
Mä, 3,2 % TS	0,60	0,67	0,634	0,031
KJ, 29,4 % TS	6,03	2,88	4,453	1,575
LR, 0,2 % TS	0,01	0,01	0,007	0,002

kok. P				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g ka]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	13,44	15,64	14,54	1,100
Mä, 3,2 % TS	18,71	20,59	19,65	0,940
KJ, 29,4 % TS	19,94	10,34	15,14	4,800
LR, 0,2 % TS	2,83	3,99	3,41	0,580

liukoinen P					
HS-Vesi	[mg/g]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,0032	0,0006	0,0029	0,002	0,0012
Mä, 2,3 % TS	0,0054	0,0048	0,0052	0,005	0,0002
KJ, 27,8 % TS	0,0212	0,0263	0,0407	0,029	0,0083
LR, 0,2 % TS	0,0044	0,0030	0,0014	0,003	0,0012
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,003	0,001	0,003	0,002	0,001
RL, 20,1 % TS	0,004	0,010	0,031	0,015	0,012
RR, 0,1 % TS	0,00000	0,00004	0,0001	0,00004	0,0000

liukoinen P					
HS-Vesi	[mg/g ka]				
Linkokuivaus	D1	D2	D3	keskiarvo	keskihajonta
LL, 3,9 % TS	0,060	0,018	0,099	0,059	0,03
Mä, 2,3 % TS	0,251	0,208	0,22	0,225	0,02
KJ, 27,8 % TS	0,08	0,09	0,15	0,106	0,03
LR, 0,2 % TS	2,611	1,735	0,443	1,596	0,89
Ruuvikuivaus	D1	D2	D3		
LL, 3,9 % TS	0,060	0,018	0,099	0,059	0,03
RL, 20,1 % TS	0,017	0,05	0,16	0,077	0,06
RR, 0,1 % TS	0,0037	0,0198	0,083	0,035	0,03

liukoinen P				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,002	0,004	0,003	0,001
Mä, 3,2 % TS	0,004	0,008	0,006	0,002
KJ, 29,4 % TS	0,01	0,01	0,010	0,001
LR, 0,2 % TS	0,0003	0,001	0,001	0,0004

liukoinen P				
Riihimäen puhdistamo	[mg/g ka]			
Linkokuivaus	D1	D2	keskiarvo	keskihajonta
LL, 4,8 % TS	0,05	0,10	0,07	0,025
Mä, 3,2 % TS	0,13	0,23	0,18	0,055
KJ, 29,4 % TS	0,03	0,04	0,03	0,004
LR, 0,2 % TS	0,13	0,51	0,32	0,188

Liite 3: Näytelaimennokset

Näytelaimennokset		HSD1	HSD2	HSD3	RVD1	RVD2
Nitraattityppi	LL	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	Mä	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	KJ	1+5	1+5	1+5	1+5	1+5
	RL	1+5	1+5	1+5		
	LR	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	RR	raaka	raaka	raaka		
Liukoinen typpi	LL	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	Mä	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	KJ	1+5	1+5	1+5	1+5	1+5
	RL	1+5	1+5	1+5		
	LR	raaka	raaka	raaka	raaka	raaka
	RR	raaka	raaka	raaka		
Kokonaisfosfori	LL	1000	2000	2000	2000	1000
	Mä	1000	1000	1000	2000	1000
	KJ	26642	24666	23142	27201	18864
	RL	8940	5343	7760		
	LR	20	20	60	10	10
	RR	10	10	10		
Liukoinen fosfori	LL	10	10	10	10	20
	Mä	10	10	10	10	10
	KJ	24	24	60	24	24
	RL	24	24	60		
	LR	4	5	4	5	5
	RR	5	raaka	raaka		