

HS-VEDEN AKAAN JÄTEVEDENPUHDISTAMON PROSESSITARKASTELU

Typenpoiston tehostaminen ja energiankulutus



Ylemmän AMK-tutkinnon opinnäytetyö

Rakentamisen koulutusohjelma

Syksy 2022

Elina Lehtinen

Tämä opinnäytetyö laadittiin Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Akaan jätevedenpuhdistamon nykyisen prosessin mahdollisuutta kokonaistypenpoistoon, määrittää prosessiparametrejä laitoksen käytön tueksi sekä tarkastella laitoksen kokonaisenergiankulutusta tehtyjen laitosinvestointien jälkeen. Akaan puhdistamo on saavuttanut ympäristöluvan lupaehdot, lukuunottamatta kokonaistypenpoistoa. Lisäksi Akaan puhdistamo on sitoutunut green deal -sopimukseen, jonka ehtojen toteutumista opinnäytetyössä tarkasteltiin.

Opinnäytetyö tehtiin toimintatutkimuksena, jossa tarkasteltiin typenpoiston teoriaa sekä laadittiin tarkastelu Akaan jätevedenpuhdistamon nykytilasta osana kehittämistyötä. Tämän lisäksi puhdistamolla tarkasteltiin typen esiintymistä eri prosessinosissa näytteenotolla sekä tehtiin pienimuotoisia koeajoja laitoksella. Prosessiparametrejä määritettiin velvoitetarkkailutulosten avulla. Energiankulutusta tarkasteltiin kokonaissähköenergiana laskemalla siitä vesihuoltolaitoksille tyypillisiä vertailulukuja.

Akaan jätevedenpuhdistamolla on mahdollisuus saavuttaa kaikki ympäristöluvan lupaehdot lukuun ottamatta kokonaistypen pitoisuusvaatimusta. Opinnäytetyössä nousi esiin kokonaistypenpoistoon vaikuttavia tekijöitä. Puhdistamon nykytilan kartoituksessa havaittiin kokonaistypen tulokuorman merkittävä kasvu, joka vaatii laitokselta entistä tehokkaampaa puhdistusta. Denitrifikaation vaatima orgaanisen aineen määrä suhteessa typen pitoisuuteen oli varsinkin kesäaikaan matala, tämä heikentää kokonaistypenpoistoa. Laitoksella tehtiin koeajoja tulevan jäteveden johtamiseksi suoraan ilmastukseen orgaanisen aineen pitoisuuksien kasvattamiseksi ja tästä saatiin lupaavia tuloksia. Suuret virtaamavaihtelut laitoksella laskevat lämpötilaa ja heikentävät nitrifikaatiota, joka estää ympärivuotisen typenpoiston laitoksella. Kokonaisenergiankulutus on pienentynyt laitosinvestointien myötä ja Akaan puhdistamo on toiminut nykyisin energiatehokkaasti.

Kehitysehdotuksena opinnäytetyössä esitettiin kokonaistypen kuormituksen kasvun tarkempaa tarkastelua, tarkastelua orgaanisen aineen pitoisuuden kasvattamiseksi denitrifikaation tarpeisiin, joko tulevan jäteveden hyödyntämisellä tai kemikaloinnin avulla sekä energiamittausten kohdentamista eri yksikköprosesseihin ja reaaliaikaiseen seurantaan laitosautomaation kehittämisen yhteydessä.

Degree Programme in Construction and Environmental

Author Elina Lehtinen

Subject Process Review of HS-Vesi Akaa Wastewater Treatment Plant

Supervisors Harri Mattila HAMK, Juha Sipponen HS-Vesi

Abstract

Year 2022

This thesis was made for Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy. The purpose of this thesis was survey the Akaa wastewater treatment plant's (WWTP) possibility to improve total nitrogen removal, define process parameters and study total energy consumption after investmets that was made on WWTP.

The thesis was made by operational study, witch includes theory of nitrogen removal and examination of the current state of the Akaa WWTP. After that the WWTP was collected samples for examine which form the nitrogen occurs in the process and made some minor test drives in the WWTP'S process.

The thesis showed that Akaa WWTP is possibility to achieve all conditions in environmental permit, except for the content of the total nitrogen. There was some issues, which emerged in the study. The examination of the current state in WWTP showed that the total nitrogen load had increased significantly. Also the organic matter concentration was low, which denitrification needed to function. There was made some test drive in WWTP during the thesis. The purpose of the test drive, was study how the raw wastewater additional organic matter and improve the denitrification. The results were promising. The variation of the incoming flow lows the temperature of the process and weaken the nitrification so the year-round total nitrogen removal prevent. The consumption of total energy was decrease and the WWTP is workin quite energy efficiently.

The further research were suggested the closer study of the purpose why the incoming load of the nitrogen has increased, The reserch of the adding organic matter in the denitrification process via raw waste water or chemicals and allocation of energy measurements to different unit processes and real-time monitoring in connection with the development of plant automation.

Keywords Waste Water Treatment, Nitrification, Denitrification, Energy consumption

Pages 58 pages and appendices 7 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset.....	2
1.2	Tutkimusmenetelmät.....	3
2	Biologinen typenpoisto jätevedenpuhdistamolla	4
2.1	Typenpoistoon vaikuttavat tärkeimmät tekijät	7
2.2	Typenpoiston tehostaminen vanhalla laitoksella	9
3	Akaan jätevedenpuhdistamon nykytila	10
3.1	Vesimäärät	11
3.2	Akaan jätevedenpuhdistamon lupaehdot	13
3.3	Green deal -sopimukset	14
3.3.1	Yhdyskuntajäteveden puhdistamisen green deal -sopimus	14
3.4	Akaan jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset vuosina 2018 – 2021.....	16
3.5	Typpi Akaan jätevedenpuhdistamolla	19
4	Akaan jätevedenpuhdistamon biologisen prosessin tehostaminen	22
4.1	Akaan jätevedenpuhdistamolla tehtyjä uudistuksia vuosina 2019 – 2022 ...	23
4.2	Typenpoistoon vaikuttavat tärkeimmät tekijät	24
4.3	Prosessiparametrien määrittäminen	25
4.3.1	Kiintoaine ilmastuksessa	26
4.3.2	Virtaama biologiseen osaan	28
4.3.3	Ilmastuksen hiili-typpi -suhde	30
4.3.4	Kierrätykset ilmastuksessa	33
4.4	Yhteenveto biologisen prosessin tehostamismahdollisuuksista	34
5	Jätevedenpuhdistamon tehostamistoimien vaikutus sähkönkulutukseen.....	36
5.1	Energiankulutuksen mittarointi	37
5.2	Energiankulutus Akaan jätevedenpuhdistamolla	38
5.3	Vertailu toisiin laitoksiin.....	39
6	Johtopäätökset	41
	Lähteet.....	44

Liitteet

- Liite 1 Akaan jätevedenpuhdistamon PI-kaavio
- Liite 2 Typen eri fraktioiden määrittäminen
- Liite 3 Lieteindeksit
- Liite 4 Koeajot esiselkeytyksen ohittamiseen

1 Johdanto

Keväällä nousi otsikoihin suurten sulamisvesien aiheuttamat ongelmat viemäriverkostoille lisääntyneinä virtaamina ja ohituksina. Samoin lisääntyvästä korjausvelasta vesihuoltolaitosten verkostoissa on kirjoitettu mediassa ja niihin on alettu kiinnittää huomiota. Akaan jätevedenpuhdistamolla on ollut suurena haasteena tulevien vesimäärien poikkeuksellisen suuri vaihtelu, jolloin jätevedenpuhdistamon kapasiteetti on ajoittain ylittynyt ja puhdistamolla on jouduttu turvautumaan suuriin ohitusvesimääriin.

Jätevedenpuhdistamoiden pääasiallisena tehtävänä on poistaa jätevedestä ravinteita niiden vesistöä rehevöittävien ominaisuuksien vuoksi. Jätevedenpuhdistamoille tulee puhdistusveloituksia ympäristölainsäädännön mukaisista ympäristöluvista, joita tarkkaillaan puhdistamoilta kerättävillä veloitettavilla näytteillä. Ympäristöluvan veloitteiden täyttymistä tarkkaillaan neljännesvuosikeskiarvoina tai vuosikeskiarvoina.

Akaan suuret ohitusvesimäärät ovat aiheuttaneet sen, ettei ympäristöluvan veloitteisiin ole päästy, koska ohitusvedet lasketaan mukaan puhdistustuloksiin. Ohitusvesien haasteeseen on Akaan puhdistamolla vastattu rakentamalla niille erillinen ohitusvesien käsittely-yksikkö, joka otettiin käyttöön vuoden 2019 lopulla. Vuodesta 2020 on Akaan puhdistamolla täytetty ympäristöluvan lupaehdot, lukuun ottamatta typenpoistoa.

Typenpoistoon liittyviä veloituksia on tullut Suomeen jätevedenpuhdistamoille Euroopan yhdyskuntadirektiivin myötä, joka annettiin vuonna 1991. Koska ohitusvesien vaikutus puhdistustulokseen on saatu minimoitua, on laitoksella mahdollisuus parantaa tulosta myös typenpoiston osalta. Puhdistamot ovat halutessaan saaneet sitoutua parantamaan tulosta ympäristöluvan ehtoja paremmaksi, allekirjoittamalla green deal – sitoumuksen. Myös Akaan jätevedenpuhdistamo on sitoutunut tähän sopimukseen yhdessä muiden HS-Veden jätevedenpuhdistamoiden kanssa.

Venäjän aloitettua hyökkäyssodan Ukrainaan helmikuussa 2022, on sähkö- ja lämpöenergian hinta moninkertaistunut. Jätevedenpuhdistamoilla kulutetaan merkittävästi sähköä, erityisesti puhdistamon biologisessa osassa. Akaan jätevedenpuhdistamolla on investoitu,

saneerattu ja tehostettu toimintaa vuosien 2019–2021 aikana. Investointina rakennetun ohitusvesien käsittelylaitteiston lisäksi puhdistamolla on saneerattu esikäsitteilyä, kemikaalinsyöttöjä, jatkuvatoimisia mittauksia sekä tehostettu ilmastusaltaiden toimintaa uusimalla laitekantoja sekä automaation ohjausta ilmastuksessa. Ilmastusaltat kuluttavat kaikesta puhdistamolla käytetystä energiasta noin 50 %, minkä vuoksi ilmastusaltaiden toiminnan parantamisella ja optimoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi energian kulutukseen tehokkaamman puhdistuksen ohella. (Motiva Oy, 2018).

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tilaajana toimii Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, lyhyemmin HS-Vesi. Työ laadittiin Akaan jätevedenpuhdistamolle, joka on siirtynyt HS-Veden toimintaan vuonna 2012.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko Akaan jätevedenpuhdistamon mahdollista saavuttaa lupaehdot ja green deal -sopimuksen mukainen valtakunnallinen tavoite, että yli 90 %:a velvoitetarkkailussa tutkituista analyyseistä olisi yli ympäristöluvan veloitteen. Tarkastelua tehtiin puhdistamon olemassa olevaan prosessiin.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin, minkälaisilla prosessiparametreilla prosessin toimivuus oli tehokkaimmillaan, erityisesti typenpoisto huomioiden. Prosessiparametreina tarkasteltiin tyypillisesti jätevedenpuhdistamoiden suunnittelussa huomioon otettavia suureita.

Akaan jätevedenpuhdistamolla on investoitu ja saneerattu laitosta. Ilmastusaltaiden tiedetään kuluttavan puhdistamoilla noin puolet koko laitoksen käyttämästä energiasta. Akaan puhdistamolla on tehostettu ilmastuksen toimintaa korjaamalla vikaantuneita laitteita tai vaihtamalla niitä uusiin, lisäämällä jatkuvatoimisia mittauksia, lisäämällä lietekiertoja ja uudistamalla prosessiautomaatiota. Opinnäytetyössä tarkasteltiin investointien, saneerauksien sekä ilmastusaltaiden parantamisen vaikutusta puhdistamon kokonaissähköenergiankulutukseen.

Opinnäytetyölle asetetut tutkimuskysymykset olivat:

1. Onko Akaan jätevedenpuhdistamon mahdollista saavuttaa ympäristöluvan mukaiset lupaehdot sekä green deal -sopimuksen tavoitteet nykyisellä laitoksella ja prosessilla?
2. Minkälaisilla prosessiparametreilla puhdistamon toiminta on tehokkaimmillaan, erityisesti typenpoiston näkökulmasta?
3. Onko laitoksen saneerauksilla ja investoinneilla ollut vaikutusta kokonaissähkönkulutukseen?

Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään ainoastaan jätevedenpuhdistamon biologista prosessia (ilmastus – jälkiselkeytys) ja siinä käytettäviä laitteistoja. Opinnäytetyössä ei tarkasteltu jätevedenpuhdistamon kemikaaleja tai niiden optimointia. Laitoksen saneerauksien ja investointien vaikutuksia energiankulutukseen tarkasteltiin ainoastaan sähkönkulutuksen näkökulmasta. Akaan puhdistamon lupaehtojen sekä green deal -sopimuksen tavoitteita tarkasteltiin laitoksen velvoitetarkkailuista saatujen tulosten perusteella.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö toteutettiin toimintatutkimuksena, joka jakaantui kahteen osaan. Aluksi opinnäytetyössä laadittiin teoreettinen osuus, jossa tarkasteltiin jätevedenpuhdistuksen, erityisesti typenpoiston teoriaa, sekä laadittiin kuvaus Akaan jätevedenpuhdistamon nykytilasta. Teoriaosuudessa hyödynnettiin alan kirjallisuutta ja tutkimuksia, nykytilan kartoitus tehtiin velvoitetarkkailutulosten sekä laitoksen automaatiojärjestelmän keräämän datan perusteella.

Puhdistamolla ei ollut kattavaa selvitystä ja kuvausta nykytilanteesta tehtyjen investointien ja saneerausten jälkeen. Opinnäytetyötä laadittaessa katsottiin, että nykytilan selvitys on peruste laitoksen toiminnan kehittämiseksi. Nykytilan selvitykseen valikoituivat vuodet 2018-2021 sen vuoksi, että ohitusvesien käsittely-yksikön rakentaminen ja käyttöönotto tapahtui vuosien 2019-2020 aikana. Vuosi 2018 edustaa aikaa ennen kuin ohitusvedet on saatu käsiteltyä ja vuosi 2021 aikaa jolloin ohitusvesien käsittely on ollut täydessä tuotannollisessa käytössä.

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa määritettiin laskennallisesti ja kokeellisesti prosessinohjaukseen liittyviä parametrejä. Jätevedenpuhdistamolta analysoitiin näytteitä, niin nykytilan kartoittamiseksi kuin tutkimustyön pohjaksi. Puhdistamolla tehtiin myös pienimuotoisia koeajoja ja järjestelyitä opinnäytetyön tueksi.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin lisäksi jo valmistuneiden saneerausten ja investointien vaikutusta energiankulutukseen. Tätä tarkasteltiin lähinnä kokonaissähköenergian kulutuksen kautta laskemalla siitä vesihuoltolaitoksille tyypillisiä vertailulukuja ja vertaamalla niitä muiden laitosten vastaaviin lukuihin. Vertailutiedot kerättiin kirjallisuudesta.

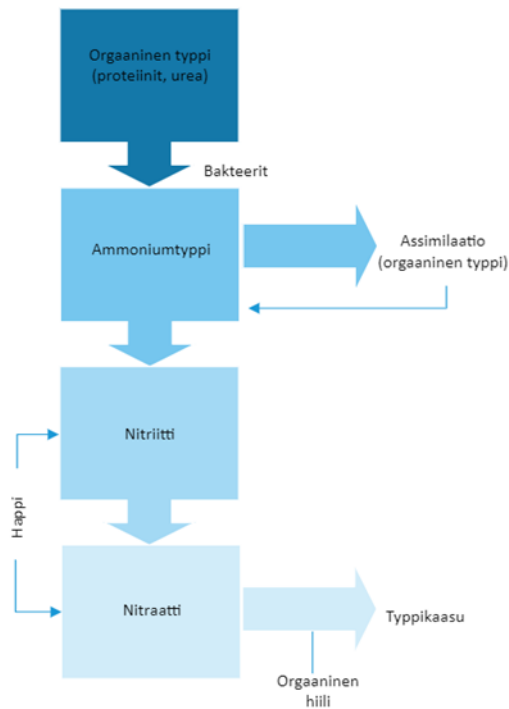
2 Biologinen typenpoisto jätevedenpuhdistamolla

Jätevedenpuhdistamoiden pääasiallinen tehtävä on poistaa ravinteita jätevesistä. Sisävesissä tyypillisimmin rehevöittämistä rajoittaa fosfori ja merialuilla typpi. Typpi päätyy vesistöihin luontaisen huuhtoman ja ilmalaskeumien kautta, mutta myös ihmistoiminnasta kuten maatalouden ja jätevesien mukana. (Ahonen, 2016, s. 21) Tyypeä esiintyy erilaisissa yhdisteissä luonnossa ja jätevedenpuhdistamolla (Kuva 1). Kokonaistyyppi muodostuu orgaanisesta tyypestä, ammoniumtyypestä, nitriitistä ja nitraatista. (Metcalf & Eddy, 1991. s.85). Typpiyhdisteet eivät muodosta kemiallisesti saostettavia suoloja, joten niiden poisto täytyy tehdä biologisesti. Kokonaistypenpoiston tehostaminen vaatii puhdistamoilla erityistä suunnittelua ja prosessin ajotapaa. (Karttunen, 2004. s. 211).

Tyypeä esiintyy eri muodoissa puhdistamon prosessin eri vaiheissa. Taulukossa 1 on esitetty luonnossa ja jätevedenpuhdistamoilla esiintyvän tyypen eri muodot (Taulukko 1).

Jätevedenpuhdistamolle tulevassa vedessä noin 20 %:a on orgaanista tyypeä. Loppu on epäorgaanista, liukoisessa muodossa olevaa tyypeä, joka esiintyy ammonium-, nitriitti- ja nitraattityypinä. Kunnallisella jätevedenpuhdistamoilla tulevan veden epäorgaanisesta tyypestä 95 %:ia on ammoniumtyypinä. Nitriittiä ja nitraattia esiintyy jätevedenpuhdistamon biologisessa prosessissa. (Kemira, 2020. s. 56).

Kuva 1: Typhen eri muodot jätevedenpuhdistamon käsittelyprosessissa (mukailen, Metcalf & Eddy, 1991. s. 430)



Taulukko 1: Typhen eri muodot luonnossa ja jätevedenpuhdistamolla (mukailen, Kemira, 2020 s. 55)

Typpikaasu (N ₂)	Puhdas typpiyhdiste. Maapallon ilmakehästä 78 % on typpikaasua. Jätevedenpuhdistamolla denitrifikaatioprosessin lopputuote.
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Orgaanisen typhen hajoamistuote. Toimii ravinteena maaperässä ja vesistössä. Saattaa muodostaa ammoniakkia. Jätevedenpuhdistamolle tulevasta vedestä suurin osa on ammoniummuodossa.
Ammoniakki (NH ₃)	Myrkyllinen vesiliukoinen kaasu. Muodostuu ammoniumista korkeassa pH:ssa
Nitriitti (NO ₂ ⁻)	Ammoniumtyphen hapettumisen (nitrifikaatio) välivaiheen tuotos
Nitraatti (NO ₃ ⁻)	Nitrifikaation lopputuote. Toimii helposti käytettävissä olevana ravinteena maaperässä ja vesistössä.
Proteiinit	Typpeä esiintyy olennaisena osana proteiineja. Proteiineista muodostuu eläviä kudoksia kasveissa, eläimissä ja ihmisissä.

Kaikki puhdistamot poistavat typpeä jonkin verran. Osa tyypestä on sitoutuneena kiintoaineeseen, joka saadaan erotettua esikäsitellyssä. Jos puhdistamo on biologinen aktiivilietelaitos, osa tyypestä sitoutuu myös biomassaan, jossa mikrobit käyttävät sen ravinteena ja solujen rakennusaineena, tätä kutsutaan assimilaatioksi. Osa biomassaan sitoutuneesta tyypestä vapautuu takaisin prosessiin solujen hajotessa. (Kemira, 2020. s. 91; Karttunen, 2004 s. 211) Kiintoaineeseen sitoutumisen lisäksi kokonaistyypeä voidaan puhdistamoilla poistaa denitrifikaation kautta. Tehostettu typenpoisto perustuu nitrifikaatio- ja denitrifikaatioreaktioihin (Ahonen 2016. s. 135).

Nitrifikaatio on biologinen aerobinen prosessi, jossa ammoniumtyppi hapetetaan nitriitin kautta nitraatiksi. (Rantanen, ym., 1999, s. 11). Alla on esitetty nitrifikaation yksinkertaistettu kokonaisreaktioyhtälö:



Nitrifikaatio ei varsinaisesti poista kokonaistyypeä jätevedestä, joten sitä ei voida yksistään pitää tehostettuna typenpoistona puhdistamoilla. Nitrifikaatio kuitenkin muuttaa typen vähemmän happea kuluttavaan muotoon vesistöissä. (Ahonen, 2016. s. 19)

Denitrifikaatio on biologinen prosessi, jossa bakteerit käyttävät soluhengitykseensä hapen sijasta nitriittiä ja nitraattia. Nitraatin pelkistyminen typpikaasuksi tapahtuu asteittain. Alla on esitetty yksinkertaistettu kokonaisreaktioyhtälö:



Biologinen kokonaistypenpoisto edellyttää suotuisia olosuhteita nitrifikaatiolla ja denitrifikaatiolle. Nitrifikaatio- ja denitrifikaatiobakteerit ovat hidaskasvuisia, joten niiden tehokas toiminta vaatii suurempia allastilavuuksia kuin orgaanisen aineen tai fosforin poisto. Lietteeseen sitoutumalla typpeä poistuu biologisessa prosessissa 20-30 %:a.

Denitrifikaatiossa voidaan saavuttaa kokonaistypenpoistossa 50-70 %:n teho, jos tulevan jäteveden hiili saadaan hyödynnettyä käyttöön. Erilaisilla teknisillä ratkaisulla, esimerkiksi jälkisuodattimilla ja lisähiilen syötöllä voidaan saavuttaa 85-95 %:n typenpoistotehokkuus. Sisäinen kuormitus, varsinkin puhdistamoilla joissa on mädättämö, voi olla merkittävä ja se

saattaa heikentää puhdistamon typenpoistotulosta 10-15%, tämä on huomioitava jo mitoittaessa puhdistamo. Nitrifikaation toimiessa hyvin päästään alhaisiin ammoniumtyppitasoihin, tällöin käsitellyssä vedessä ammoniumtyppipitoisuus on alle 4 mg/l. (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, ss. 56-57).

2.1 Typenpoistoon vaikuttavat tärkeimmät tekijät

Nitrifikaatio tapahtuu jätevedenpuhdistamon ilmastetuissa altaissa tai altaiden osissa, joissa on optimi happipitoisuus nitrifioivien bakteerien kasvuun. Nitrifikaatiobakteerit tarvitsevat ammoniumioneja ja happea kasvuunsa. Nitrifikaatio on jätevedenpuhdistamon herkästi häiriintyvin ja hitain prosessinosa, johon vaikuttaa erityisesti viipymä, happipitoisuus, lämpötila ja pH. (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, ss. 43-44)

Typenpoiston toinen osa vaatii anoksiset olosuhteet, eli altaan osan, jossa on hapettomat olosuhteet, mutta nitraattia mikrobien käyttöön. Denitrifikaatiossa bakteerit käyttävät soluhengityksessään nitraatin sisältämää happea, samalla pelkistäen nitraatin typpikaasuksi. Denitrifikaatiobakteerit pystyvät kasvamaan myös hapellisissa olosuhteissa, mutta eivät silloin pelkistä nitraattia. Denitrifikaatiobakteerit tarvitsevat energiaa orgaanisesta aineesta. Tätä voidaan saada prosessiin mikrobien endogeenihengityksestä, tulevasta jätevedestä tai lisäämällä jotain soveltuvaa orgaanista ainesta prosessiin. (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, s. 43)

Typenpoistoprosessissa varsinkin nitrifikaatio on voimakkaasti lämpötilarajoitteinen, joten ammoniumin hapettuminen on kesäisin tehokkaampaa kuin talvella. Noin 10 asteen lämpötilannousu kaksinkertaistaa nitrifikaationopeuden. Kuitenkin tasainen lämpötilan kasvu on tehokkaampaa kuin nopeat muutokset veden lämpötilassa. (EPA, 1999). Nitrifikaatio hidastuu ja typenpoisto vaikeutuu prosessin lämpötilan laskiessa alle + 12 °C (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, s. 44). Nitrifikaatio on mahdollista myös kylmissä vesissä, jätevedenpuhdistamolla lämpötilan laskua talviaikaan voidaan kompensoida nostamalla ilmastusaltaan liete-pitoisuutta ja viipymää, eli lieteikää. (Kemira, 2020. s. 92).

Liuenneen hapen pitoisuus vaikuttaa osaltaan nitrifikaatioon ja denitrifikaatioon, koska osaprosessit toimivat eri happiolosuhteissa. Nitrifikaatio on hapellinen prosessi, jossa liuenneet hapen pitoisuuden pitäisi olla yli 2 mg/l. Nitrifikaationopeus liuenneen hapen pitoisuudella 0,5 mg/l on vain 60 % yli 2 mg/l nopeudesta. Liian alhainen happipitoisuus voi lisätä haitallisten kasvihuonekaasujen määrää, koska nitrifikaatio jää vajaaksi. (EPA, 1999). Denitrifikaatio vastaavasti ei tarvitse liuennutta happea, prosessin ei kuitenkaan tarvitse olla täysin hapeton, mutta happipitoisuus pitäisi olla alle 1 mg/l (Karttunen, 2004, s. 547).

Nitrifikaatio toimii yleensä hyvin pH-alueella 7-8,5 ja pH:n laskiessa alle 6,5 hidastuu prosessi huomattavasti (Karttunen, 2004, s. 546). Alemmilla pH arvoilla nitrifikaationopeus voi olla huomattavasti hitaampi ja pH arvolla lähellä pH 6:tta nitrifikaationopeus voi olla vain 20 % verrattaessa nopeuteen pH arvon ollessa lähellä pH 7:ää (EPA, 1999). Nitrifikaatioreaktio laskee itsessään pH:ta ja veden alkaliniteetin ollessa alhainen voi nitrifikaatioreaktio laskea pH:ta jyrkästi (Kemira, 2020. s. 92). Denitrifikaatio puolestaan kuluttaa vedestä vetyioneja, joten se nostaa veden alkaliniteettiä. Tällä tavoin saadaan prosessiin takaisin noin puolet nitrifikaation kuluttamasta alkaliniteetistä. Denitrifikaation optimi pH on 7 – 8. (Karttunen, 2004, s. 547).

Denitrifikaatio prosessina vaatii toimiakseen tietyn määrän orgaanista hiiltä, kuten liukoista BOD:ta. Jätevedenpuhdistamot, joissa päästään alhaisiin kokonaistyyppipitoisuuksiin käyttävät tyypillisesti lisähiilenlähdettä, kuten käsittelemätöntä jätevettä tai erilaisia kemikaaleja. Lisäksi puhdistamolle voidaan lisätä vielä erillinen jälkikäsittely-yksikkö denitrifikaation tehostamiseksi. (EPA, 1999). Nitrifikaatio toisaalta edellyttää hiiliyhdisteiden puhdistamista jätevedestä nitrifikaatiobakteereiden hitaan kasvun vuoksi ja on huomioitava prosessia suunniteltaessa. (Karttunen, 2004, s. 213).

Suuret virtaamavaihtelut vaikuttavat puhdistamon tulovirtaamaan, lämpötilaan ja hydrauliseen kuormaan. Tämä voi puolestaan pienentää lieteikää, mikä heikentää nitrifikaatiota. Lisäksi suuret virtaamat laimentavat ja muuttavat ravinnesuhteita, mikä saattaa heikentää typenpoistoa. Nitrifikaatio on myös erittäin herkkä raskasmetalleille ja muille epäorgaanisille haitta-aineille. (EPA, 1999).

2.2 Typenpoiston tehostaminen vanhalla laitoksella

Jätevedenpuhdistamoilla ensimmäiset vaatimukset typenpoistosta koskivat ammoniumtypen hapettamista eli nitrifikaatiota. Laitosten saavutettua tehokkaan nitrifikaation, on laitoksilla alettu edellyttämään kokonaistypenpoistoa. Tehostettu typenpoisto vaatii hyvin toimivan nitrifikaatioprosessin lisäksi denitrifikaatioprosessin. On olemassa useita tapoja toteuttaa denitrifikaatio nitrifikaation kanssa: esidenitrifikaatio, jälkidenitrifikaatio, samanaikainen denitrifikaatio sekä näiden erilaisia yhdistelmiä. (Kemira, 2020. s. 94)

Denitrifikaatio on riippuvainen hiilenlähteestä, jotka voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoiisiin hiilenlähteisiin. Sisäisenä hiilenlähteenä voidaan käyttää tulevaa jätevettä, ulkoinen hiilenlähde tarkoittaa orgaanisen aineen lisäystä kemikaloinnin avulla.

Esidenitrifikaatioprosessissa eli ns. D/N-prosessissa hyötynä on se, että orgaanisen hiilen lähteenä voidaan käyttää tulevan jäteveden sisältämää orgaanista ainesta. D/N-prosessi vaatii kuitenkin kierrätyksen eri prosessinosien välillä, koska kokonaistypenpoistoteho on riippuvainen kierrätysuhteesta. D/N-prosessin etuna voidaan pitää orgaanisen kuorman pienentymistä ennen nitrifikaatiota, jolloin nitrifikaatio toimii tehokkaammin.

Jälkidenitrifikaatioprosessi, eli N/D -prosessi ei vaadi toimiakseen kierrätyspumppausta, mutta saattaa vaatia ulkoisen hiilen lähteen. (Kemira, 2020. s. 94-95).

Ludzack ja Ettinger ottivat ensimmäisenä käyttöön yksilietejärjestelmän, jossa käytettiin tulevaa jätevettä hyödyksi denitrifikaatiossa. Järjestelmässä oli kaksi erillistä osaa, joista ensimmäinen oli sekoitettu anoksinen osa ja toinen ilmastettu nitrifikaatiota varten.

Laajennetussa Ludzack ja Ettinger järjestelmässä (Modified Ludzack-Ettinger process, MLE) lisättiin eri prosessiyksiköiden välille kierrätys, jossa nitrifikaatio-osuudesta kierrätettiin vettä denitrifikaatio-osuuteen. (Mogens;van Loosdrecht;Ekama;& Brdjanovic, 2008, ss. 111-112)
Laajennettua Ludzack-Ettinger prosessia voidaan kutsua myös D/N-prosessiksi.

D/N-prosessin etuja ovat mm:

- Denitrifikaation tarvitsema hiilenlähde saadaan jätevedestä, eikä ulkopuolista hiilenlähdettä tarvita kuin hienosäätöön. Tuleva jätevesi voidaan johtaa suoraan denitrifikaatioon tai ohittamalla hallitusti laitoksen esikäsittelyä. D/N-prosessilla pitäisi olla mahdollista saavuttaa 60-70 %:n typen poistoteho, mikäli tulevan jäteveden hiili saadaan denitrifikaation käyttöön.
- D/N-prosessissa denitrifikaatiossa tapahtuu huomattavan suuri BOD₇-pitoisuuden lasku, joka vähentää vastaavasti ravinteiden poistoon vaadittavaa allastilavuutta, sekä hapen tarvetta ilmastusaltaassa. Laskennallisesti denitrifikaatio laskee BOD₇-arvoa 3-5 mg yhtä pelkistynyttä nitraattityypimilligrammaa kohti.
- Denitrifikaatio nostaa jäteveden alkaliniteettiä 0,14 mmol yhtä pelkistynyttä nitraattityypimilligrammaa kohti, näin saadaan kompensoitua noin puolet nitrifikaation kuluttamasta alkaliniteetistä. (Karttunen, 2004, s. 548)

3 Akaan jätevedenpuhdistamon nykytila

Akaan jätevedenpuhdistamo on rakennettu vuonna 1977 ja laajennettu vuonna 1993. Prosessiltaan puhdistamo on kemiallis-biologinen jätevedenpuhdistamo. Sinne johdetaan vesiä Akaan kaupungin alueelta; entisistä Toijalan kaupungin, Viialan kunnan ja Kylmäkosken kunnan alueelta, sekä osa Kalvolan litalan taajaman jätevesistä. Taulukossa 2 on esitetty Akaan puhdistamon mitoitusarvoja vuoden 1993 laajennuksen jälkeen (Taulukko 2). (Aluehallintovirasto, 2012, s. 4)

Taulukko 2: Akaan puhdistamon mitoitusarvot (Aluehallintovirasto, 2012, s. 4)

Parametrit	Mitoitusarvot
Asukasvastineluku, AVL_{mit}	70 000
Keskimääräinen virtaama, Q_{kesk}	13 000 m ³ /d
Mitoitusvirtaama, Q_{mit}	750 m ³ /h
BOD ₇ mitoituskuormitus	5 130 kg/d
Ilmastuksen tilavuus, V_{ilm}	4 x 510 m ³ = 2 040 m ³
Jälkiselkeytyksen pinta-ala, A_{selk}	4 x 204 m ² = 816 m ²

Runsaiden virtaamavaihteluiden vuoksi on Akaan jätevedenpuhdistamolla jouduttu turvautumaan ohituksiin. Tämä on osaltaan vaikuttanut siihen, ettei puhdistamolla ole

päästy ympäristöluvan mukaisiin puhdistustuloksiin. Puhdistamolle aloitettiin suunnittelemaan erillistä ohitusvesien käsittely-yksikköä vuonna 2017 ja rakennustyöt aloitettiin tammikuussa 2019. Ohitusvesien käsittely-yksikköä voidaan tarvittaessa ajaa myös laitoksen jälkikäsittely- eli tertiääriyksikkönä. (FCG, 2018). Ohitusvesien käsittely-yksikön valmistuttua ja otettua käyttöön, on Akaan jätevedenpuhdistamon ohitusvesien määrä laskenut ja laitoksella päästy lupaehtoihin, lukuunottamatta kokonaistypen poistoa.

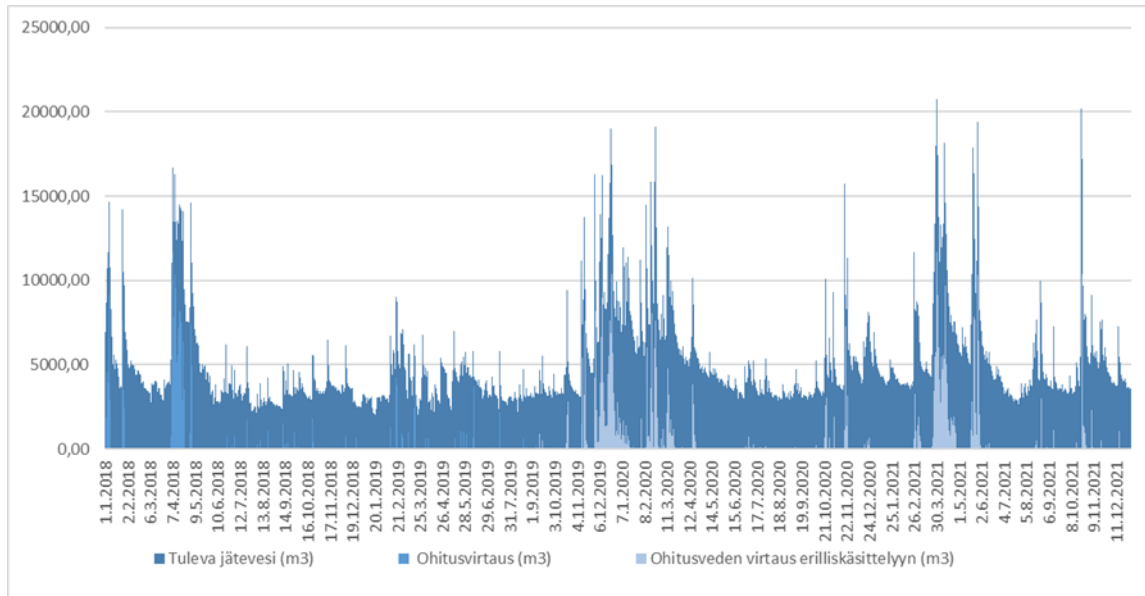
Akaan jätevedenpuhdistamolle johdetaan vedet kuuden ison pumppaamon kautta. Jätevedet esikäsitellään välppäämällä, hiekanerotuksessa ja kahdessa esiselkeytysaltaassa. Esiselkeytyksen jälkeen vedet voidaan johtaa aktiivilietealtaisiin ja jälkiselkeytykseen tai ohitusvesien käsittelyyn. Kun tulevan veden virtaama, kasvaa yli puhdistamon käsittelykapasiteetin, ohjataan vedet ohitusvesien käsittelyyn automaattisesti toimivan ylivirtausluukun kautta. Vedet ohjautuvat painovoimaisesti ohitusvesien tasausaltaaseen, josta ne pumpataan ohitusvesien käsittelyyn. (Veolia, 2019). Liitteessä 1 on Akaan jäteveden PI-kaavio vuodelta 2016.

Tertiäärikäsittelyssä koko laitoksen läpi johdettu vesi ohjataan pumppaamon kautta ohitusvesien tasausaltaaseen ja sieltä ohitusvesien käsittelylaitteistoon. Ohitusvesien käsittelylaitteisto käynnistyy ja pysähtyy jälkiselkeytetyllä vedellä. Tarvittaessa jälkiselkeytettyä vettä pumpataan myös ohitustilanteessa, mikäli ohitusvesien virtausmäärä ei riitä saavuttamaan Actiflon minimivirtaamaa. (Veolia, 2019).

3.1 Vesimäärät

Akaan jätevedenpuhdistamolle johdettu virtaama vaihtelee merkittävästi. Kuvassa 2 on esitetty Akaan jätevedenpuhdistamolle johdetut vuorokausivirtaamat vuosilta 2018-2021 (Kuva 2). Tarkastelussa olleiden vuosien minimivirtaama puhdistamolle oli 2062 m³/d ja maksimivirtaama 20 738 m³/d. Akaan jätevedenpuhdistamo on laajennettu vuonna 1992, jolloin maksimivirtaamaksi laitokselle on määritelty 13 000 m³/d (Aluehallintovirasto, 2012, s. 4). Mitoitukset on kuitenkin laskettu ennen typenpoistovelvoitteen asettamista.

Kuva 2: Akaan jätevedenpuhdistamon vuorokautinen tulovirtaama vuosina 2018-2021

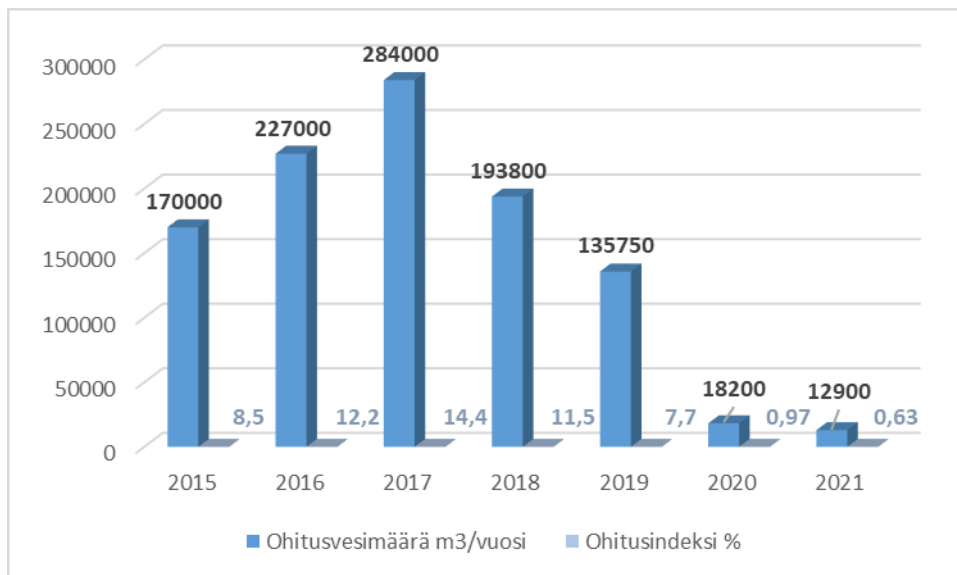


Akaaseen rakennetun ohitusvesien erilliskäsittelyn rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen ei puhdistamolta ole jouduttu juurikaan ohittamaan vesiä. Vesihuoltolaitosten ohitusindeksi kuvaa laitoksen ohitusten prosentuaalista määrää. Se lasketaan laitoksen, verkostojen, mukaan lukien jätevedenpumppaamot, yhteenlasketusta ohitusvedenmäärästä suhteena tulevaan jätevesimäärään (Kaava 1) . Ohitusindeksi kuvaa viemäriverkoston kuntoa ja sekaviemäröinnin osuutta verkostossa. Jätevedenpuhdistamoiden ohitusten osalta ohitusindeksi kuvaa mahdollisia hydraulisia ylikuormituksia. (VVY, 2015, s. 13). Kuvassa 3 on Akaan jätevedenpuhdistamon ohitusvesimäärät ja ohitusindeksit vuosilta 2015-2021 (Kuva 3).

Kaava 1: Ohitusindeksin laskeminen

$$\text{Ohitusindeksi \%} = \frac{\text{ohitusvesimäärä}}{\text{käsitelty jätevesimäärä}} * 100$$

Kuva 3: Ohitusvesimäärät ja -indeksit Akaan jätevedenpuhdistamolle vuosina 2015-2021



3.2 Akaan jätevedenpuhdistamon lupaehdot

Akaan jätevedenpuhdistamolle on annettu ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa vuonna 2003. Ympäristölupa on päivitetty ja tarkastettu vuonna 2012, jolloin Akaan kaupungin vesihuolto siirtyi Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n hoidettavaksi. Samalla haettiin lupaa johtaa lakkautetun Kalvolan puhdistamon vesistä osa Akaan jätevedenpuhdistamolle. Taulukossa 3 on esitetty Akaan puhdistamon ympäristölupaan liittyvät puhdistusvaatimukset (Taulukko 3). Pitoisuus- ja käsittelytehot lasketaan neljännesvuosikeskiarvoina mukaan lukien puhdistamolla ja verkostossa tapahtuvat ylivuototilanteet ja ohijuoksutukset. Kokonaistypen pitoisuusvaatimus koskee ajankohtaa, jolloin veden lämpötila biologisessa prosessissa on yli +12 °C. Kokonaistypen poistoteho lasketaan vuosikeskiarvona. (Aluehallintovirasto, 2012).

Taulukko 3: Akaan jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan mukaiset puhdistusvaatimukset

Suure	Enimmäispitoisuus mg/l	Vähimmäisteho %
BOD _{7ATU}	10	95
Fosfori, P	0,3	95
COD _{cr}	70	85
Kokonaistyyppi, N	20	50
Ammoniumtyppi, NH ₄	8	

3.3 Green deal -sopimukset

Green deal -sopimukset ovat vapaaehtoisia sopimuksia valtion ja elinkeinoelämän tai kuntasektorin välillä, sopimukset ovat osa EU:n vihreän kasvun ohjelmaa. Sopimuksien tavoitteena on edistää kestävä kehityksen tavoitteita ja torjua muun muassa ilmastonlämpenemistä. Sopimusten avulla voidaan tehostaa ja täydentää lainsaadantöä asettamalla korkeammat tavoitteet, kuin mitä lainsäädäntö vaatii. Green deal -sopimukset ja niihin sitoutuneiden toimijoiden sitoumukset ovat osa Suomen kestävä kehityksen toimikunnan yhteiskuntasitoumusta. Green deal -sopimuksia laaditaan usealle eri toimialalle. (Sitoumus 2050, 2022).

Green deal -sopimuksissa sitoudutaan seurattavissa oleviin tavoitteihin ja jokaisella sopimusosalalla laaditaan oma kriteeristö, jonka täyttymistä seurataan. Sopimuksia ei laadita suoraan yksittäisen toimijan kanssa, vaan sopimuskumppanina toimivat esimerkiksi toimialajärjestöt tai kuntaryhmittymät. Tavoitteiden toteutumista seurataan valtakunnallisella tasolla. Yksittäinen yritys tai toimija sitoutuu edistämään sopimuksen tavoitteita ja toteuttamaan sopimuksessa määritellyjä toimenpiteitä tekemällä erillisen sitoumuksen green deal -sopimukseen. (Sitoumus 2050, 2022).

3.3.1 Yhdyskuntajäteveden puhdistamisen green deal -sopimus

Yhdyskuntajätevesien green deal -sopimuksessa sovitaan ravinteiden ja haitallisten aineiden kuormituksen vähentämisestä. Valtakunnallisena tavoitteena on, että yli 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoilla 90 % veloitettarkkailuiden tuloksista on ympäristöluvan vaatimuksia tehokkaampia. Tavoitteena on valtakunnallisesti myös pienentää ja alittaa ympäristöluvan raja-arvojen laskennallinen kokonaiskuormitus vesistöön. Kokonaiskuormituksen pienentäminen koskee kaikkia yli 2 000 AVL:n puhdistamoja. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 3-5)

Sopimukseen toteutumista seurataan vuosittain ympäristöhallinnon raportointijärjestelmään toimitettujen valvontatutkimustarkkailujen tuloksien avulla. Sopimuksen johtoryhmä seuraa ympäristöluvan raja-arvoihin verrattavia tuloksia;

jätevedenpuhdistamoiden BOD-, fosfori-, ammoniumtyppi- ja kokonaistyyppikuormaa (tonnia/vuosi) sekä sopimukseen sitoutuneiden yhdistysten tekemiä toimenpiteitä, edistymistä ja niiden vaikuttavuutta. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 8).

Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden green deal -sopimuksen ovat allekirjoittaneet Ympäristöministeriö, Suomen kuntaliitto ry ja vesihuoltolaitoksien edustajana Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Yksittäiset jätevedenpuhdistamot voivat osallistua green deal -sopimukseen allekirjoittamalla siihen liittyvän sitoumuksen. Sitoumuksessa määritetään yksittäisen jätevedenpuhdistamon omat tavoitteet, toimenpiteet ja toteutus omaan toimintaansa sopivalla tavalla. Jokaisen sitoumuksen tehneen jätevedenpuhdistamon on toteutettava alla luetelluista toimista vähintään 4 toimenpidettä oman toimintansa kehittämiseksi. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 2-3,7)

- asettaa toiminnalleen omia tavoitteita yhdyskuntien jätevesien käsittelemisestä ympäristöön aiheutuvan ravinteiden ja haitallisten aineiden kuormituksen vähentämiseksi
- kehittää omaa toimintaansa ravinteiden poiston tehostamiseksi
- kehittää omaa toimintaansa ravinteiden kierrättämisen tehostamiseksi
- vähentää päästöjään verkostojen hallintaan, saneeraukseen, vuotovesiin ja ylivuotoihin keskittyvillä hankkeilla
- kehittää omaa toimintaansa viemärylivuotojen vähentämiseksi
- edistää omalla toiminnallaan riskien hallintaa ja uusien hyvien käytäntöjen käyttöönottoa organisaatiossaan ja jakamista toimialalla
- tuottaa ja jakaa uutta tietoa haitallisten aineiden esiintymisestä jätevesissä, haitallisten aineiden päästölähteistä jätevesiin sekä haitallisten aineiden käytön vähentämisestä päästölähteellä
- kehittää hulevesien hallinnan käytäntöjä yhteistyössä kaupunkien ja kuntien kanssa

Ympäristönsuojelulain mukaisista ympäristölupien lupamääräyksien säännönmukaisesta tarkastamisesta luovuttiin vuonna 2014. Ympäristölupapäätökset ovat voimassa toistaiseksi ja niitä tarkastetaan tarvittaessa. Toistaiseksi voimassa olevan ympäristöluvan muuttaminen tarkoittaa hallinnollisesti uuden ympäristölupahakemuksen laatimista. Green deal -

sopimuksen osapuolet ovat todenneet, että vapaaehtoisella vesiensuojelulla, kuormituksen vähentämisellä ja jätevedenpuhdistamon lupaehtoja parempaan tulokseen pääsemisellä, ei ympäristöluvan lupaehtojen tarkastamiselle olisi tarvetta. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 2-3,7)

HS-Vesi on allekirjoittanut yhdyskuntajätevesien green deal -sitoumuksen, ja se on hyväksytty yhtiön hallituksessa. Yleisten tavoitteiden lisäksi HS-Vesi on määrittänyt sopimuksen mukaisesti omia tavoitteita toiminnalleen, näistä yhtenä on typenpoiston tehostaminen Akaan jätevedenpuhdistamolla. (HS-Vesi, Jukka Meriluoto, sähköposti 10.6.2022). Akaan jätevedenpuhdistamon mitoituksen mukainen AVL on 70 000 ja toteutunut AVL noin 18 000, joten Akaan puhdistamo kuuluu green deal -sopimuksessa sekä velvoitetarkkailun tuloksia, että kokonaiskuormitusta tarkasteltaviin jätevedenpuhdistamoihin.

3.4 Akaan jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset vuosina 2018 – 2021

Akaan puhdistamon tuloksia verrataan ympäristöluvan antamiin luparajoihin. Akaan puhdistamo kuuluu suuruusluokaltaan puhdistamoihin, joilta kerätään velvoitetarkkailunäytteitä 12 kertaa vuodessa (Valtioneuvoston asetus 888, 2006) Velvoitetarkkailunäytteet otetaan automaattisilla näytteenottimilla. Näytteiden keräämisestä ja analysoinnista vastaa Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys.

Green deal-sopimuksen valtakunnallisena tavoitteena on, että yli 90 % vuosittain otetuista näytteistä on parempia kuin lupamääräys. Green deal -sopimuksessa tarkastellaan tuloksia samalla tavalla kuin ympäristöluvassa, eli vuosineljänneksittäin, lukuun ottamatta typen pitoisuuksia. (Ympäristöministeriö, 2021) Kilomääräistä kuormitustarkastelua ei tässä työssä käsitelty, koska se lasketaan valtakunnallisesti green deal -sopimuksen mukaan. Sopimus ei ollut vielä allekirjoitettu tarkasteluvuosina, mutta tarkastelua on tehty nykytilan arvioimiseksi.

Alla oleviin taulukoihin on kerätty Akaan jätevedenpuhdistamon velvoitetarkkailujen mukaiset puhdistustulokset. Taulukoihin tummennettuna on merkitty lupaehtojen ylitykset ja kursiivilla green deal -sopimuksen mukaiset lupaehtoja paremmat tulokset.

Vuonna 2018 puhdistustulos (Taulukko 4) täytti ympäristöluvan mukaiset käsittelyvaatimukset ainoastaan viimeisellä vuosineljänneksellä. Kokonaistypen poistotehoa tarkastellaan vuosikeskiarvona. Jäännöspitoisuutta (mg/l) tarkastellaan ajankohtina, jolloin prosessilämpötila ilmastuksessa on yli 12 °C. Vuonna 2018 typen jäännöspitoisuus ylittyi tarkastelujaksolla kerran. Typenpoiston kokonaisteho vuonna 2018 oli 63 %. (KVVY, 2018).

Taulukko 4: Akaan jätevedenpuhdistamon tulokset 2018

Laskentajakso	BOD ₇		Fosfori		COD _{Cr}		N _{KOK}	NH ₄
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	%	mg/l
1. jakso	12	93	0,52	91	44	90	59	8,7
2. jakso	26	80	1,2	72	69	79	50	10
3. jakso	11	96	0,63	93	39	93	70	3,4
4. jakso	5,2	98	0,24	97	30	95	73	3,1
Luparajat	≤ 10	≥ 95	≤ 0,3	≥ 95	≤ 70	≥ 85	≥ 50	≤ 8

Kokonaistyyppi	27.6.	24.7.	23.8.	11.9.	18.10	13.11.
Lämpötila °C	13,4	14,7	16	15	13,7	12
mg/l	11	18	12	23	18	14

Green deal -sopimuksen tavoitteita ei oltaisi saavutettu. Tarkasteltaessa puhdistamon tulosta ilman kokonaistypen pitoisuusrajaa saavutettiin ympäristöluvan vaatimuksia parempi puhdistustulos 17 kertaa vuoden aikana, joka oli 53 % puhdistustuloksista. Ottaessa typenpoiston mukaan tarkasteluun lupaehtoja parempi tulos saavutettiin 22 kertaa vuoden aikana, joka oli 57,9 % kaikista puhdistustuloksista.

Vuonna 2019 puhdistustulos ei täyttänyt ympäristöluvan käsittelymääräyksiä (Taulukko 5). Kokonaistypen pitoisuusrajat ylittyivät kolmella näytteenotokerralla vuonna 2019. Kokonaistypen poistoteho oli 55 %. (KVVY, 2019).

Taulukko 5: Akaan jätevedenpuhdistamon tulokset 2019

Laskentajakso	BOD ₇		Fosfori		COD _{Cr}		N _{KOK}	NH ₄
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	%	mg/l
1. jakso	37	71	1,3	70	83	71	42	12
2. jakso	12	95	0,41	95	40	94	61	11
3. jakso	5,8	98	0,54	94	28	95	71	1,7
4. jakso	3,6	97	0,12	97	20	94	31	1,9
Luparajat	≤ 10	≥ 95	≤ 0,3	≥ 95	≤ 70	≥ 85	≥ 50	≤ 8

Kokonaistyyppi	26.6.	11.7.	22.8.	2.10.	17.10.
Lämpötila °C	12,9	13,5	15	13,7	13,1
mg/l	19	23	16	28	31

Green deal -sopimuksen tavoitteita ei oltaisi saavutettu. Tarkasteltaessa puhdistamon tulosta ilman kokonaistypen pitoisuusrajaa saavutettiin ympäristöluvan vaatimuksia parempi puhdistustulos 16 kertaa vuoden aikana, joka oli 50 % puhdistustuloksista. Ottaessa typenpoiston mukaan tarkasteluun lupaehtoja parempi tulos saavutettiin 18 kertaa vuoden aikana, joka oli 48,6 % kaikista puhdistustuloksista.

Vuonna 2020 puhdistustulos täytti ympäristöluvan käsittelymääräykset täysimääräisesti lukuun ottamatta ensimmäisen jakson fosforin poistotehoa, sekä ammoniumtypen pitoisuutta (Taulukko 6). Kokonaistypen pitoisuusrajat ylittyivät neljällä näytteenotokerralla. Kokonaistypen poistoteho vuosikeskiarvona oli 59 %. (KVVY, 2020).

Taulukko 6: Akaan jätevedenpuhdistamon tulokset 2020

Laskentajakso	BOD ₇		Fosfori		COD _{Cr}		N _{KOK}	NH ₄
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	%	mg/l
1. jakso	5,5	96	0,25	93	27	91	34	9
2. jakso	3,5	99	0,15	99	18	98	73	3,1
3. jakso	2,6	99	0,11	100	17	99	78	2,3
4. jakso	2,3	99	0,17	97	21	96	50	0,87
Luparajat	≤ 10	≥ 95	≤ 0,3	≥ 95	≤ 70	≥ 85	≥ 50	≤ 8

Kokonaistyyppi	24.6.	27.7.	18.8.	9.9.	15.10.
Lämpötila °C	12,7	13	14,7	14	13,3
mg/l	21	14	30	27	27

Green deal -sopimuksen tavoitteisiin olisi päästy jättämällä kokonaistypen lämpötilariippuvaiset pitoisuusrajat huomioimatta. Tarkasteltaessa puhdistamon tulosta ilman kokonaistypen pitoisuusrajaa saavutettiin ympäristöluvan vaatimuksia parempi puhdistustulos 29 kertaa vuoden aikana, joka oli 90,6 % puhdistustuloksista. Ottaessa typenpoiston mukaan tarkasteluun lupaehtoja parempi tulos saavutettiin 30 kertaa vuoden aikana, joka oli 81,1 % kaikista puhdistustuloksista.

Vuonna 2021 puhdistustulos täytti ympäristöluvan käsittelymääräykset täysimääräisesti (Taulukko 7) Kokonaistypen pitoisuusrajat ylittyivät neljällä näytteenotokerralla vuonna 2021. Kokonaistypen poistoteho oli 63 %. (KVVY, 2021)

Taulukko 7: Akaan jätevedenpuhdistamon tulokset 2021

Laskentajakso	BOD ₇		Fosfori		COD _{Cr}		N _{KOK}	NH ₄
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	%	mg/l
1. jakso	2,4	99	0,12	99	19	97	67	1,2
2. jakso	7,8	96	0,12	98	28	94	56	6,1
3. jakso	1,0	100	0,15	99	23	97	63	1,5
4. jakso	1,8	99	0,15	99	18	98	68	0,8
Luparajat	≤ 10	≥ 95	≤ 0,3	≥ 95	≤ 70	≥ 85	≥ 50	≤ 8

Kokonaistyyppi	23.6.	14.7.	24.8.	30.9.	21.10.
Lämpötila °C	12,4	14,2	15	13,7	12,2
mg/l	24	18	23	37	29

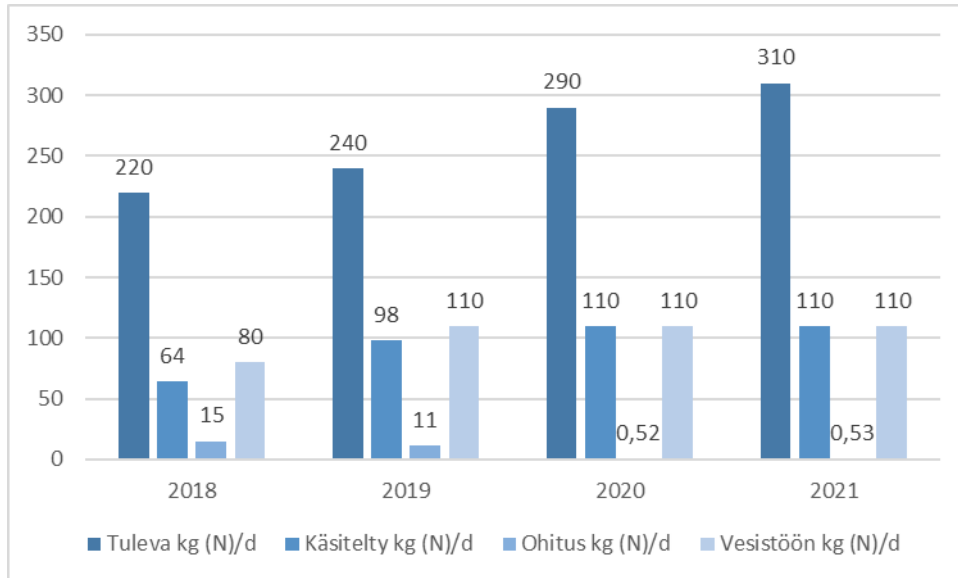
Green deal -sopimuksen tavoitteisiin olisi päästy jättämällä kokonaistypen lämpötilariippuvaiset pitoisuusrajat huomioimatta. Tarkasteltaessa puhdistamon tulosta ilman kokonaistypen pitoisuusrajaa saavutettiin ympäristöluvan vaatimuksia parempi puhdistustulos 32 kertaa vuoden aikana, joka oli 100 % puhdistustuloksista. Ottaessa typenpoiston mukaan tarkasteluun lupaehtoja parempi tulos saavutettiin 33 kertaa vuoden aikana, joka oli 89,2 % kaikista puhdistustuloksista.

3.5 Typpi Akaan jätevedenpuhdistamolla

Tarkasteltaessa typpikuormia keskimääräisen kuormituksen kg/d kautta nähdään puhdistamolle tulevassa vedessä kuormituksen kasvua. Kuormitus on kasvanut tasaisesti

tarkastelujaksona 2018-2021. Kuvassa 4 on Akaan puhdistamon tulevan, käsitellyn, ohituksen ja vesistöön lähtevän veden vuosittaiset typpikuormat (Kuva 4). Tarkastelua on tehty velvoitetarkkailujen tulosten perusteella. Käsitelty vesi tarkoittaa puhdistamon prosessin kautta johdettua vettä, vesistöön lähtevään veteen vaikuttavat puhdistamon ja verkoston ohitukset.

Kuva 4: Akaan puhdistamon typpikuormat 2018-2021



Tulevan veden kuormitus (kg/d) on kasvanut vuosien 2018-2020 tarkastelujaksona 90 kg/d, eli noin 30 %:ia. Helsingin seudun ympäristöpalvelut, HSY on tehnyt tutkimusta proteiinin määrän vaikutuksesta puhdistamolle tulevaan typpikuormaan. Pääkaupunkiseudulla tulevan veden typpikuorma on kasvanut 50 % tarkasteltaessa kuormitusta vuosien 1999-2020 välillä (HSY, 2020). Tarkasteltaessa HSY:n Espoon Suomenojan ja Helsingin Viikinmäen typpikuormituksen kasvua vuosien 2018-2021 välillä, on kuormitus kasvanut Suomenojalla 6 % ja Viikinmäessä 10 % laskettaessa puhdistamoiden ilmoittamista vuosittaisista typpikuormista (HSY, 2021). Tähän verrattaessa Akaan kuormitus on kasvanut merkittävän paljon tarkasteluajanjaksona ja nousun syyn selvittäminen vaatii jatkotarkastelua.

Akaan puhdistamolla tulevan veden näytteenottopiste on paikassa johon johdetaan puhdistamon sisäiset rejektit sekä vastaanotetut sako- ja umpikaivolietteet. Puhdistamolla ei

ole selvitetty sisäisen kuorman merkitystä typpikuorman kasvuun. Puhdistamon lähtökuormitus on pysynyt tasaisena vuodesta 2019 lähtien.

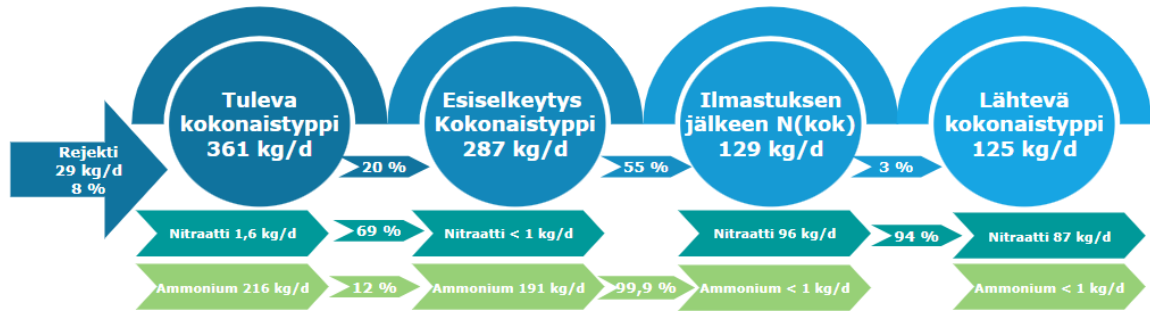
Vuoden 2021 tarkkailutulosten perusteella kokonaistypen poistoteho oli esiselkeytyksessä noin 28 % ja ilmastuksessa noin 56 %. Tarkasteluun valittiin vuoden 2021 tulokset, koska tuloksiin ei vaikuttanut enää merkittävästi ohitusvedet. Kuvassa 5 on puhdistamon tyypitase, jossa on kokonaistypen määrät ja poistotehot vuoden 2021 velvoitetarkkailutulosten perusteella (Kuva 5). Puhdistamon poistotehot ovat yhteneväiset teoriaosuudesta saatujen lukujen kanssa.

Kuva 5: Puhdistamon tyypitase 2021



Laitoksella määritettiin typen eri fraktioiden esiintymistä vedessä (liite 2). Näytteitä kerättiin tulevasta vedestä, esiselkeytetystä vedestä, ilmastetusta vedestä, lähtevästä vedestä sekä rejektivesistä. Näytteet analysoitiin Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksen laboratoriossa. Kuvassa 6 on saatujen tulosten perusteella laadittu tyypitase (Kuva 6).

Kuva 6: Akaan jätevedenpuhdistamon tyypitase elokuussa 2022



Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että kokonaistypenpoisto ei ollut parhaimmillaan näytteenottohetkellä lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuuden ollessa 30 mg/l, kokonaistypenpoistotehoksi saavutettiin kuitenkin varsin hyvä 65 % poistoteho. Näytteenottohetkellä laitoksella oli käynnissä yhden ilmastusaltaan huoltotyö, joten se on saattanut vaikuttaa tulokseen. Nitrifikaatioaste oli 98 %:ia, eli nitrifikaatio toimi hyvin, ja suurin osa tuestä ilmastuksen jälkeen oli nitraattimuodossa, eli ilmastusallas toimi hyvin ja hapetuskapasiteetti oli riittävä. Rejektivesien tyyppipitoisuudet ammoniumtyypin ja orgaanisen tuesten suhteen olivat korkeammat kuin tulevassa vedessä, mutta pienen virtaaman vuoksi jäi kokonaisvaikutus 8 %:iin. Rejektivesien kuormituksella voi olla merkitystä tulevan jäteveden tyyppipitoisuuden kasvuun ja sen vaikutuksesta kannattaa tehdä jatkotutkimuksia.

4 Akaan jätevedenpuhdistamon biologisen prosessin tehostaminen

Akaan jätevedenpuhdistamon prosessia lähdettiin tehostamaan laitteistojen kunnostuksella ja lisäyksellä, automaation uudistamisella sekä kemikaalisyöttöjen tehostamisella. Akaan jätevedenpuhdistamolle on rakennettu ilmastusaltaiin väliseinät, joilla on erotettu noin 30 %:n suuruinen osa, jonka saa tarvittaessa hapettomaksi, tämä mahdollistaa puhdistamon ajon denitrifikaatio – nitrifikaatioprosessina, eli ns. DN-prosessina. Tehostamisen tueksi määriteltiin mm. kiintoaineen määriä ilmastusaltaassa, virtaamaa biologiseen osaan sekä ravinnesuhteita. Näitä voidaan käyttää hyödyksi valittaessa ajotapoja puhdistamon käyttöön.

4.1 Akaan jätevedenpuhdistamolla tehtyjä uudistuksia vuosina 2019 – 2022

Akaan jätevedenpuhdistamolla on tehty viime vuosina paljon erilaisia perusparannuksia, saneerauksia ja uudisrakentamista, joiden tiedot on kerätty HS-Veden investointiohjelmasta. Isoin yksittäinen investointi oli loppuvuodesta 2019 valmistunut ohitusvesien käsittelyyksikkö. Vuonna 2019 aloitettiin myös välppien ja hiekanerotusaltaan perusparannuksen suunnittelu. Ilmastusallas 1:een uusittiin ilmastinlautaset huollon yhteydessä.

Vuonna 2020 toteutettiin edellisenä vuonna suunnittelussa olleet esikäsittelyn muutostyöt. Laitokselle vaihdettiin vanhojen porrasvälppien tilalle levynauhavälppät ja hiekanerotusallas saneerattiin kokonaisuudessaan, niin rakenteiden kuin koneiston osalta. Hiekanerotusaltaan loppuosaan rakennettiin kemikaalin syöttöä varten koneellinen sekoitus. Samalla uusittiin esiselkeytysaltaan lietesuppilon rakenteita ja kahdennettiin pumpput. Ilmastusallas 2:een uusittiin ilmastinlautaset huollon yhteydessä sekä uusittiin altaan nitraattikiertopumppu. Ilmastuksen jatkuvatoimiset mittaukset huollettiin ja happimittaukset uusittiin kokonaisuudessaan. Ilmastuskompressoreiden toimintaa paranneltiin vaihtamalla takaiskuja ja venttiileitä. Myös ilmastuksen runkoventtiilit korjattiin ja säädettiin toimimaan halutulla tavalla. Automaatiota tehostettiin ottamalla käyttöön ja lisäämällä säätömahdollisuuksia, sekä ohjauksia esim. jatkuvatoimisten mittausten mukaan.

Vuonna 2021 jatkettiin jatkuvatoimisten mittausten uusintaa vaihtamalla esiselkeytyksen ja lähtevän veden pH-mittaukset. Ilmastusallas 3:een uusittiin ilmastinlautaset ja rakennettiin nitraattikierrätystä varten linja virtausmittauksineen sekä asennettiin nitraattikierrätyspumppu. Ilmastuslinja 1:een uusittiin myös kierrätyspumppu. Saostuskemikaalin annostelun vaihtaminen ferrosulfaatista ferrisulfaatiksi ja syöttöpisteen muutostöiden suunnittelu ja rakentaminen aloitettiin vuonna 2021.

Vuonna 2022 tullaan rakentamaan loppuun saostuskemikaalin annosteluun ja vaihtamiseen liittyvät työt. Ilmastusaltaseen 4 vaihdetaan ilmastimet huollon yhteydessä ja rakennetaan nitraattikierrätystä varten linjat ja asennetaan nitraattikiertopumppu. Tämän jälkeen puhdistamon kaikilla linjoilla on mahdollisuus nitraattikiertoon. Muina töinä uusitaan palautuspumppuja ja aloitetaan lietteenkäsittelyn saneerauksen suunnittelu.

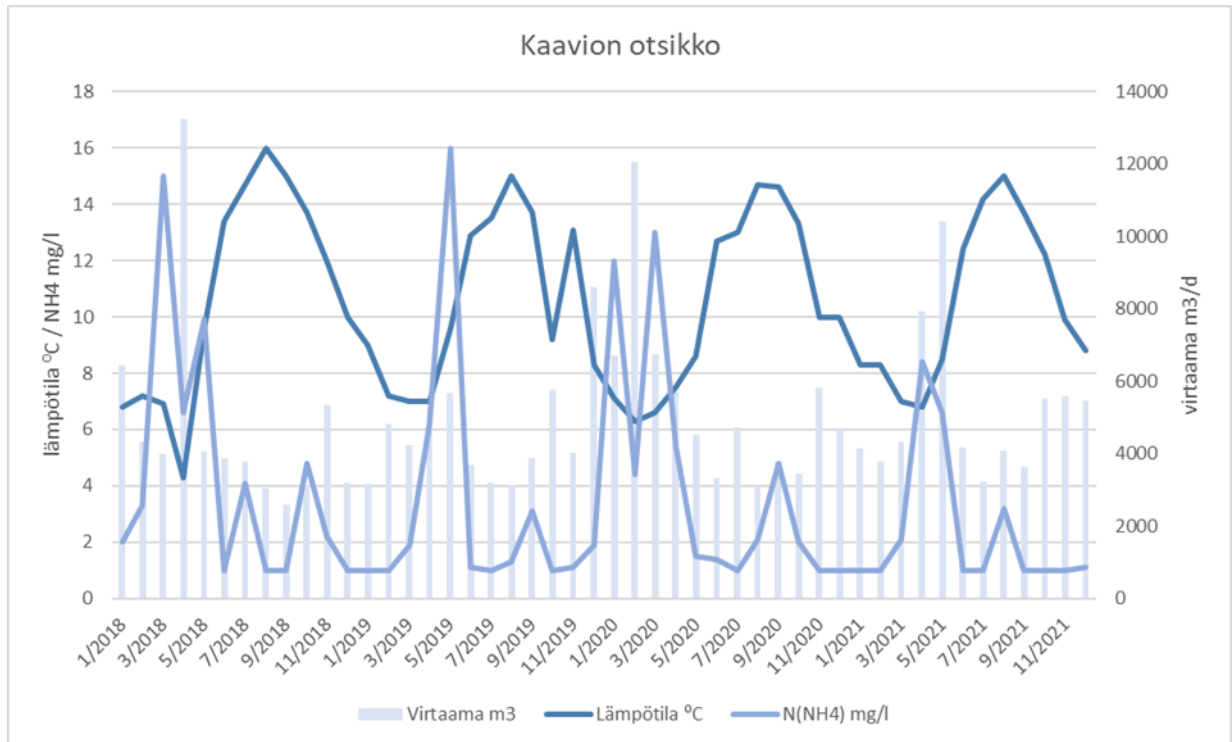
4.2 Typenpoistoon vaikuttavat tärkeimmät tekijät

Luvussa 2 käsiteltiin typenpoistoon vaikuttavia tärkempiä tekijöitä, joita olivat lämpötila, happipitoisuus, pH, orgaaninen hiili sekä virtaamavaihtelut.

Nitrifikaatio on lämpötilarajoitteinen prosessi. Nitrifikaatiobakteerit ovat hidaskasvuisia, joten lieteiän pitää olla tarpeeksi pitkä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että aktiivilietteen määrää tulee säätää jäteveden lämpötilan mukaan, mitä kylmempää jätevesi on sitä enemmän aktiivilietettä tarvitaan. (Karttunen, 2004, s. 213) Jätevedenpuhdistamolla ei pystytä vaikuttamaan tulevan jäteveden lämpötilaan, mutta laitoksella on mahdollisuus vaikuttaa lietteen määrään ja lieteikään, näitä on tarkasteltu tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Automaatiota on tehostettu Akaan jätevedenpuhdistamolla niin, että se reagoi nitrifikaation heikkenemiseen ottamalla tarvittaessa hapettoman osan hapelliseksi. Näin saadaan nitrifikaatiolle lisää allastilavuutta. Lietekästä pystytään kontrolloimaan sitomalla ylijäämänpoisto siihen.

Kuvassa 7 on esitetty Akaan puhdistamon lähtevän veden ammoniumtyyppipitoisuus, lämpötila ja virtaama (Kuva 7). Kuvasta voidaan todeta, että virtaaman kasvaessa, veden lämpötila laskee ja samalla lähtevän veden ammoniumtyyppipitoisuus kasvaa. Nitrifikaatiolle ja matalalle ammoniumtyyppipitoisuudelle lähtevässä vedessä on parhaat olosuhteet touko-kesäkuusta helmi-maaliskuuhun, hieman vuodesta riippuen. Ohitusvesien käsittely-yksikön käyttöönotto on osaltaan vaikuttanut sulamiskaudella ilmaston lämpötilaan ja tasannut virtaamia ilmastukseen. Huomioitavaa kuitenkin on se, että ohitusvesien käsittelyssä ei saada poistettua typpeä, joten sen vaikutus näkyy lähtevässä vedessä. Tiedot on kerätty velvoitetarkkailuraporteista.

Kuva 7: Vuosien 2018-2021 lähtevän veden ammoniumpitoisuus, lämpötila ja virtaama Akaan puhdistamolla



pH:n ja alkaliniteetin säätöön laitoksella käytetään sammutettua kalkkia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), joka annostellaan jauheena tulevaan veteen ennen esiselkeytystä. Konsulttitoimisto Afry laati vuonna 2020 Akaan puhdistamolle optimointiin esisuunnitelmaraportin. Raportissa tarkasteltiin kemikaalien syöttöä ja yhtenä asiana nostettiin esiin kalkin annostelupiste. On mahdollista, että osa kalkista poistuu jo esiselkeytykseen. (Afry, 2020).

4.3 Prosessiparametrien määrittäminen

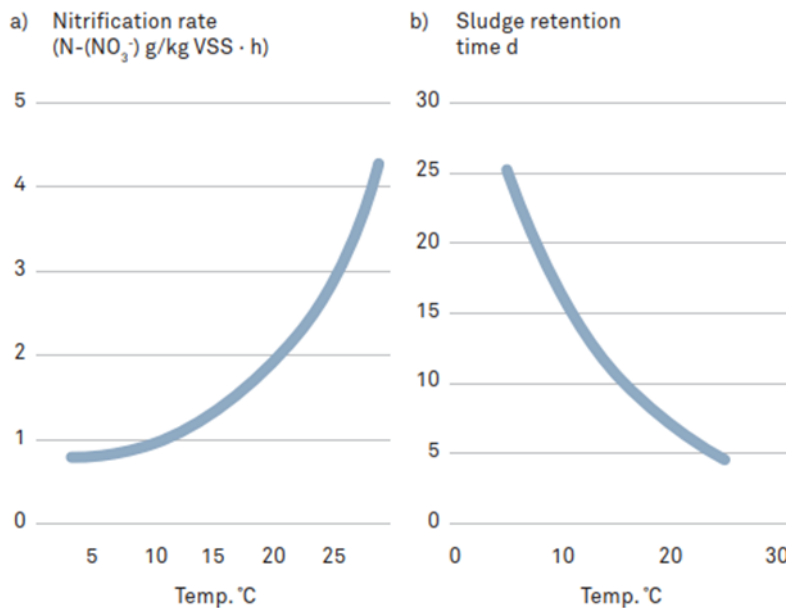
Prosessin kannalta tärkeitä parametreja tarkasteltiin saatujen tarkkailutuloksien perusteella sekä vertaamalla mitoitusmääritelmiin. Parametrien on tarkoitus toimia tulevaisuudessa ohjauksen pohjana sekä tukena puhdistamolla työskenteleville henkilöille.

4.3.1 Kiintoaine ilmastuksessa

Kiintoaineen optimimäärää ilmastusaltaassa haarukoitiin lieteiän ja sen kautta ylijäämälietteen määrän ja lietteen laskeutumisindeksin avulla. Koska vanhassa puhdistamokokonaisuudessa ei ilman merkittävää saneerausta saada kasvatettua allastilavuuksia, voidaan kompensoida puuttuvaa tilavuutta lietemäärää kasvattamalla. Lietteen laskeutuvuusindeksin kautta saadaan haarukoitua optimikiintoainepitoisuus lietteen laskeutuvuuden ja toimivuuden kannalta.

Lieteikä kertoo lietteen keskimääräisen uusiutumisaajan aktiivilieteprosessissa. Nitrifikaatiobakteerit vaativat pitkän lieteiän hitaan kasvunsa vuoksi, myös lämpötila vaikuttaa bakteerien kasvuun ja lieteiän pidentämiseen. Kuvassa 8 on esitetty nitrifikaationopeus sekä lieteikä lämpötilan funktiona (Kuva 8) (Kemira, 2020, s. 92).

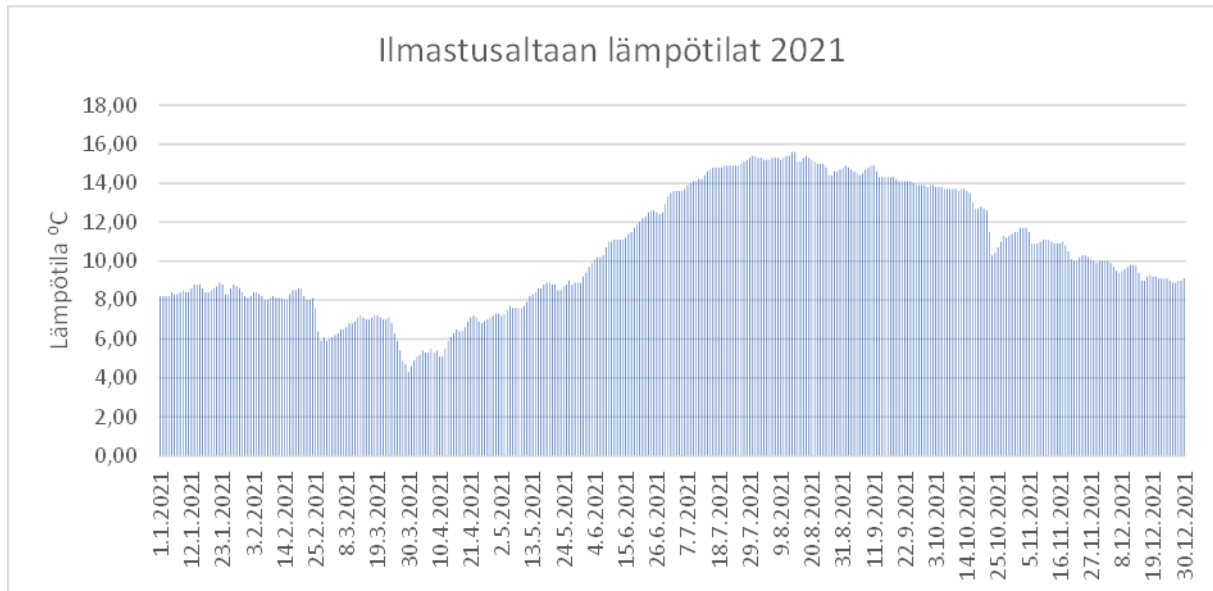
Kuva 8: Nitrifikaationopeus ja lieteikä lämpötilan funktiona. (Kemira, 2020, s. 92)



Kuvassa 9 on Akaan puhdistamon ilmastusaltaan lämpötilat vuodelta 2021 (Kuva 9). Kuvasta nähdään, että lämpötila laskee huomattavan alas keväisin lumien sulamisvesien aikaan. Alhaisimmillaan vesi on ollut vain noin 4 °C, kylmin kausi on ollut maaliskuussa. Lämpimimmillään vesi on ollut loppukesästä, jolloin veden lämpötila on ollut yli 15 °C.

Veden ollessa puhdistamolla kylmimmillään pitäisi lieteikää kasvattaa yli 25 päivän, lämpimänä kautena lieteikäksi riittää noin 10 päivää.

Kuva 9: Akaan puhdistamon ilmastusaltaan lämpötilat 2021



Lieteiän kasvattamiseen vaikuttaa myös lietteen kasvunopeus, eli saadaanko ylijäämälietettä poistettua tarpeellinen määrä, ettei lietepitoisuus ilmastusaltaassa kasva liian suureksi.

Aktiivilietteessä biomassan kasvu on laitoskohtaista, mutta yleisesti käytössä on ollut suhde, jossa bakteerimassan 0,5 kg kasvu kuluttaa 1 kg:n COD:ta. Lietteen kasvusuhte on samankaltainen riippumatta onko kyseessä hapellinen vai anoksinen osa ilmastusallasta.

Hapettomissa oloissa lietteen kasvunopeus hidastuu. (Renkonen, 2014, s. 18)

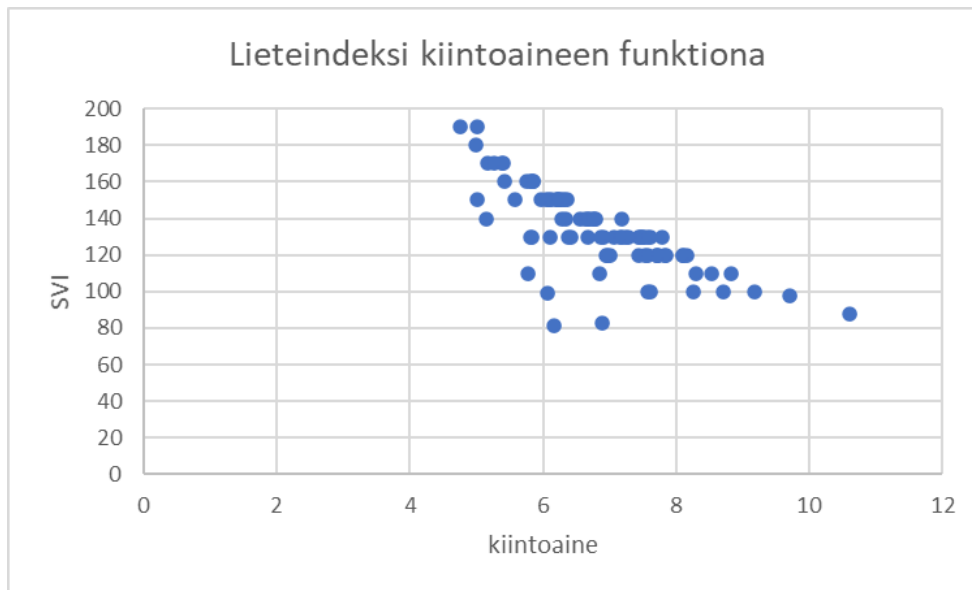
Lieteindeksi eli Mohlmanin indeksi kuvaa kuinka hyvin liete laskeutuu ja tiivistyy.

Lieteindeksistä käytetään lyhennettä SVI. Se kertoo 1 gramman suuruisen kiintoainemäärän tilavuutta, kun laskeutusaikana käytetään 30 min. Lieteindeksin yksikkö on l/g SS tai ml/g.

Mitä pienempi lieteindeksin arvo on, sen paremmin liete laskeutuu, arvon tulisi olla aina alle 150. Lieteindeksin suuri arvo kertoo lietteen huonosta laskeutumisominaisuudesta ja riittävän lietekonsentraation ylläpitäminen vaatii suuria palautuslietemääriä. Hyvin toimivassa laitoksessa lieteindeksin arvo on noin 100, liete on väriltään tummanruskeaa eikä siinä ole poikkeavaa hajua tai rakennetta. (Karttunen, 2004, s. 521; Kemira, 2020, s. 68)

Lieteindeksin suhdetta ilmastuksen kiintoainepitoisuuteen on tutkittu velvoitetarkkailuarvoilla. Arvot on kirjattuna liitteeseen 2. Kuvassa 10 on lieteindeksit kiintoaineen funktiona koko laitoksen osalta vuosilta 2020-2021 (Kuva 10). Kuvasta voidaan havaita lieteindeksin paranevan kiintoainepitoisuuden kasvaessa. Kiintoainepitoisuuden ollessa yli 6 g/l SVI:n arvo pysyi alle 150 ml/g, kiintoainepitoisuuden ylittäessä 8 g/l SVI:n arvo lähenee 100 ml/g. SVI:n perusteella määritelty kiintoainepitoisuus ilmastuksessa olisi pidettävä yli 6 g/l.

Kuva 10: Lieteindeksi ilmastuksen kiintoaineen funktiona Akaan jätevedenpuhdistamolla



4.3.2 Virtaama biologiseen osaan

Biologisen osan virtaamaa tarkasteltiin jälkiselkeytsaltaiden hydraulisen pintakuorman sekä lietetilavuuskuorman kautta.

Jälkiselkeytyksessä erotetaan liete ja vesi toisistaan, jotta liete saadaan palautettua takaisin ilmastukseen. Erotusprosessilla on myös merkittävä vaikutus puhdistustulokseen, prosessista karkaava kiintoaine heikentää puhdistustuloksia. Puhdistamon aktiivilietteen päästäminen purkuvesistöön on kielletty ympäristöluvassa.

Akaan jätevedenpuhdistamolla on ollut haasteita jälkiselkeytyksien kapasiteetin kanssa, johtuen suurista virtaamavaihteluista. Pintakuorma kertoo virtaaman suhteesta

jälkiselkeytyksaltaan pinta-alaan. Aktiivilieteprosessille suositeltava pintakuorma keskimääräisellä virtaamalla on 0,7-1,4 m/h, pitkäilmastusprosessille 0,3 – 0,7 m/h, nitrifioivan prosessin pintakuorma ei saa ylittää 1,4 m/h. (RIL 192-1991, 1991, s. 84) Suositusarvoja alhaisimmilla pintakuormilla selkeytystulos paranee ja tehokkaassa laskeutuksessa pintakuorma ei saisi ylittää arvoa 1 m/h. Pintakuorma lasketaan kaavan 2 avulla (Kaava 2).

Kaava 2: Hydraulisen pintakuorman laskeminen

$$S_h = Q \div A$$

jossa Q = veden virtaama tunnissa m³/h ja A on altaan pinta-ala m²

Akaan puhdistamolla yhden jälkiselkeytyksen pinta-ala on 204 m² (Aluehallintovirasto, 2012). Vertailtaessa selkeytyksen hydraulista pintakuormaa eri virtaamilla saatiin määritettyä virtaama m³/h yhteen ilmastusaltaaseen. Tulokset on kirjattu taulukkoon 8 (Taulukko 8).

Lietetilavuuskuormassa huomioidaan pintakuorman lisäksi jälkiselkeytyksaltaseen tulevan veden kiintoainepitoisuus (Kaava 3). Mitoitettaessa jälkiselkeytystä, tulisi Akaan jätevedenpuhdistamon jälkiselkeytyksaltaiden mallin mukaisen lietetilavuuskuorman olla tehokkaassa selkeytyksessä 0,3 m/h, suositeltavassa mitoituksessa, jota ei tulisi ylittää 0,5 m/h ja yläraja 0,6 m/h. (Karttunen, 2004, ss. 510 - 513)

Kaava 3: Lietetilavuuskuorman laskeminen

$$S_{MLSS} = S_h * C_{MLSS} * SVI * 10^{-3}$$

jossa S_h on hydraulinen pintakuorma (m/h), C_{MLSS} on lietepitoisuus (kg/m³) ja SVI lieteindeksi (m³/kg). Puhdistamon lietetilavuuskuormaa on tarkasteltu eri kiintoainepitoisuuksien kautta ja SVI arvona on käytetty 140 kg/m³.

Taulukko 8: Jälkiselkeytyksen pintakuorma ja lietetilavuuskuorma

Virtaama (m ³ /h)	Pintakuorma (m/h)	Lietetilavuuskuorma (m/h)			
		4 kg/m ³	6 kg/m ³	8 kg/m ³	10 kg/m ³
50	0,25	0,14	0,21	0,27	0,34
100	0,49	0,27	0,41	0,55	0,69
150	0,74	0,41	0,62	0,82	1,03
200	0,98	0,55	0,82	1,10	1,37
250	1,23	0,69	1,03	1,37	1,72
300	1,47	0,82	1,24	1,65	2,06

Lasketun pintakuorman ja lietetilavuuskuorman perusteella, maksimivirtaama on riippuvainen kiintoainepitoisuudesta. Akaan jätevedenpuhdistamon biologisen osaan laskettu kiintoainepitoisuus välillä 6-8 kg/m³, mahdollistaa virtaaman lietetilavuuskuormalla arvioituna noin 50 - 100 m³/h, pintakuormaan perusteella ilmastukseen voitaisiin johtaa suurempikin virtaama yhtä ilmastusallasta kohti, kaikkineen ilmastukseen voidaan johtaa noin 400 m³/h.

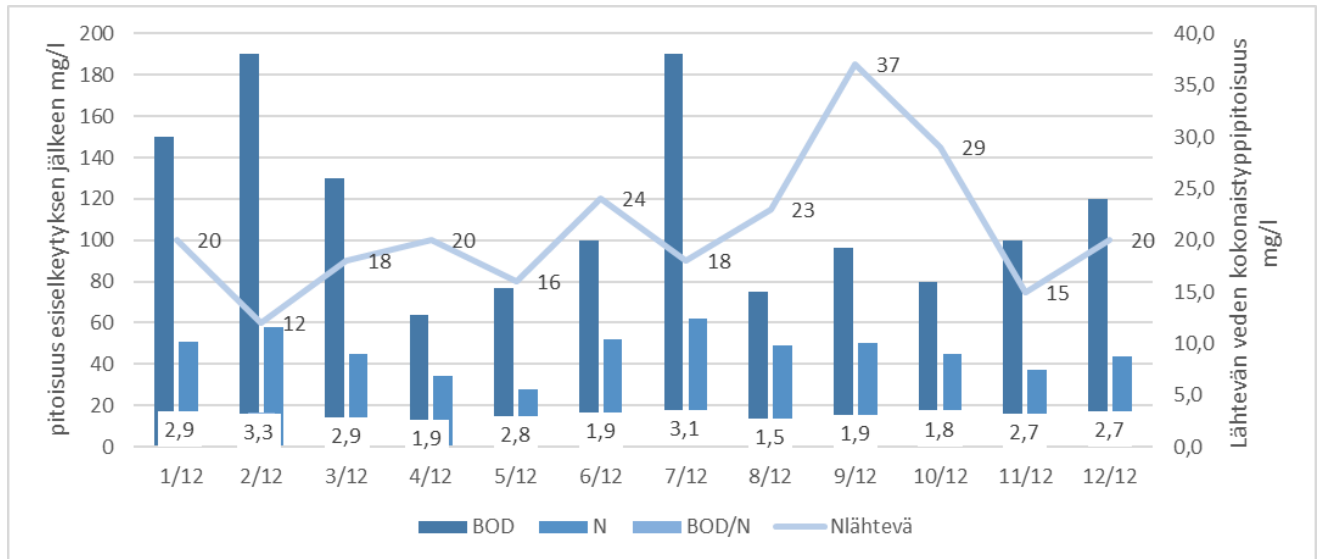
4.3.3 Ilmastuksen hiili-tyyppi -suhde

Tehokas denitrifikaatio vaatii orgaanista ainesta toimiakseen. Akaan puhdistamolle on valikoitunut DN-prosessi, jossa voidaan hyödyntää tulevan jäteveden hiilisisältöä. Kokonaistypenpoistotehon arvioidaan olevan 40-70 %, jos laitoksella ei käytetä ulkoista hiililähdettä ja laitoksilla joissa vesi esiselkeytetään päästään alimpiin teholuokkiin. Jos laitokselle tulee helposti hyödynnettävää orgaanista kuormaa, ei lisähiilenlähdettä välttämättä tarvita. Lisähiilenä voidaan käyttää erilaisia kemikaaleja tai tulevaa jätevettä käyttäen esimerkiksi esiselkeytyksen hallittua ohitusta (VVY, 2016, s. 12)

Akaan jätevedenpuhdistamon keskimääräinen BOD₇/N -suhde ilmastukseen oli 2,1 vuonna 2021. Suhde on pysynyt tasaisena viime vuosina. Kokonaistypenpoiston suhteen haasteen tuo kesäaikaan pienet virtaamat ja laskeva BOD₇-kuorma. Esiselkeytykseen toimii tehokkaammin virtaamien pienentyessä. Esiselkeytyksen jälkeen kokonaistyyppi pysyy tasaisena koko vuoden. Erityisesti tarvetta hiililähteelle on kesäaikaan lämpötilojen kasvaessa. Tämä näkyy myös tarkkailutuloksissa, joissa nitrifikaatio on täysimääräistä lähes koko vuoden, mutta pitoisuusrajoihin on ollut haastetta päästä. Hankaluuden typenpoiston tehon heikkenemisessä kesäisin tuo ympäristöluvassa oleva typen pitoisuuden velvoite,

prosessilämpötilan ollessa yli 12 °C jolloin myös typenpoisto laitoksella toimii heikoiten. Vuonna 2021 heinäkuun näytteen korkea BOD₇-pitoisuus johtuu laitoksen sisäisestä kierrosta, eikä ole todellinen tulevan veden pitoisuuden nousu. Kuvass 11 on vuoden 2021 Akaan BOD₇/N -suhteet esiselkeytyksen jälkeen (tiedot velvoitetarkkailusta)(Kuva 11).

Kuva 11: BOD₇ / N -suhteet esiselkeytyksen jälkeen, sekä lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuudet vuonna 2021



Kuvasta voidaan todeta, että kokonaistypenpoistopitoisuus alenee, kun BOD/N-suhde on noin 3. Teoreettisesti denitrifikaatio kuluttaa 3-5 mg/l BOD:tä yhtä pelkistynyttä nitraattityppimilligrammaa kohden. Taulukkoon 9 on koottu tulokset, kun on laskettu teoreettisesti nykyisillä arvoilla mahdollinen typenpoistotehokkuus BOD/N-suhteella 3,5 ja olettaen kaiken esiselkeytyksestä lähteneen typen olevan nitraattimuodossa (Taulukko 9). Taulukosta voidaan nähdä, että vaikka kaikki käytössä oleva BOD saataisiin hyödynnettyä kokonaistypenpoistoon, ylittää lähtevän veden laskennallinen pitoisuus 20 mg/l kesäkuukausina. Poikkeuksena heinäkuu, jolloin pitoisuudet olivat normaalia korkeammat. Laskentaan käytetyt tiedot on kerätty velvoitetarkkailutuloksista.

Taulukko 9 Teoreettinen tarkastelu Akaan puhdistamon BOD/N-suhteen vaikutuksesta kokonaistypenpoistoon 2021.

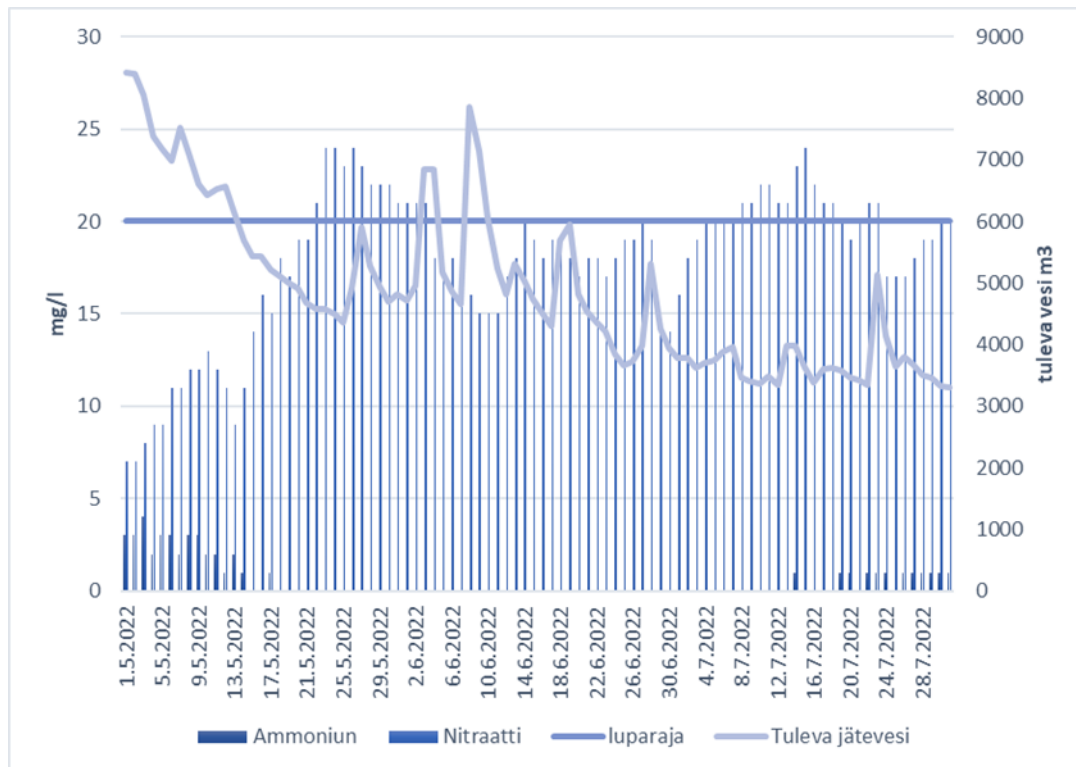
Kuukausi	Tuleva vesi $N_{(kok)}$ mg/l	BOD ₇ -pitoisuus esiselkeytyksen jälkeen mg/l	$N_{(kok)}$ -pitoisuus esiselkeytyksen jälkeen mg/l	Teoreettinen poistoteho mg/l ($N_{(kok)}$) BOD/N - suhde 3,5	Teoreettinen pitoisuus mg/l ($N_{(kok)}$) lähtevä vesi	Teoreettinen reduktio % $N_{(kok)}$
Tammi	67	150	51	43	8	88
Helmi	76	190	58	54	4	95
Maalis	66	130	45	37	8	88
Huhti	53	64	34	18	16	70
Touko	32	77	28	22	6	81
Kesä	65	100	52	29	23	64
Heinä	88	190	62	54	8	91
Elo	60	75	49	21	28	54
Syys	78	96	50	27	23	71
Loka	41	80	45	23	22	46
Marras	70	100	37	29	8	88
Joulu	71	120	44	34	10	89

Ilmastuksen hiili-typin – suhteen parantaminen on mahdollista tehdä esiselkeytystä hallitusti ohittamalla. Keskimääräisten kuormitusten perusteella laskettaessa vaatisi BOD₇/N = 3,5 ainoastaan 20 %:n ohituksen esiselkeytyksestä. Esiselkeytyksen toimiessa tehokkaimmillaan vaatisi BOD₇/N = 3,5 noin 50 %:n esiselkeytyksen ohituksen. Tämä olisi mahdollista tehdä myös ottamalla kokonaan toinen esiselkeytys pois käytöstä kesäkuukausiksi.

Akaan puhdistamolla tehtiin kesän 2022 aikana koeajo, jossa ilmastuslinjoille 1-2 johdettiin vettä ennen esiselkeytystä. Ilmastuslinjat 1-2 valikoituivat koeajoon, koska niihin on esiselkeytyksestä lyhyt pumppausmatka. Esiselkeytyksen ohitus johdettiin linjojen yhteiseen palautuslietekanavaan. Kuvassa 12 koeajon tulokset kuvaajana, muut tulokset ovat liitteenä 3 (Kuva 12). Koeajon tiedot kerättiin jatkuvatoimisilta mittauksilta laitoksen automaatiojärjestelmän kautta.

Koeajojakso aloitettiin 1.6.2022 ja se lopetettiin 31.7.2022. Kuvaajassa on mukana myös toukokuun tiedot. Toukokuun alussa laitoksen virtaama ja ammoniumtyppipitoisuus olivat vielä korkealla sulamisvesien vuoksi. Kuvasta nähdään, että koeajojakson aikana nitraattipitoisuus pysyi pitoisuudessa alle 20 mg/l. Toukokuun lopulla on havaittavissa nitraattipitoisuuksia yli 20 mg/l. Koeajojen perusteella hallitulla esiselkeytyksen ohittamisella voitaisiin nykyisiin lupaehtoihin päästä.

Kuva 12: Esiselkeytyksen ohittamisen koeajon tulokset



Esiselkeytyksen ohitus on mahdollista laitoksella käsin avattavien luokkujen avulla. Ohitukselle ei ole virtausmittareita. Hallittu ohitus vaatisi suunnittelua ja rakentamista, jotta vesi saataisiin ohjattua ilmastuksessa optimipaikkaan ja mitattua ohitusveden määrää. Haasteen esiselkeytyksen ohittamiseen tekee Akaan jätevedenpuhdistamon suuret tulovirtaamien ja kuormitusten erot, myös ohitusvesien hallinta tulee huomioida esiselkeytystä ohittaessa.

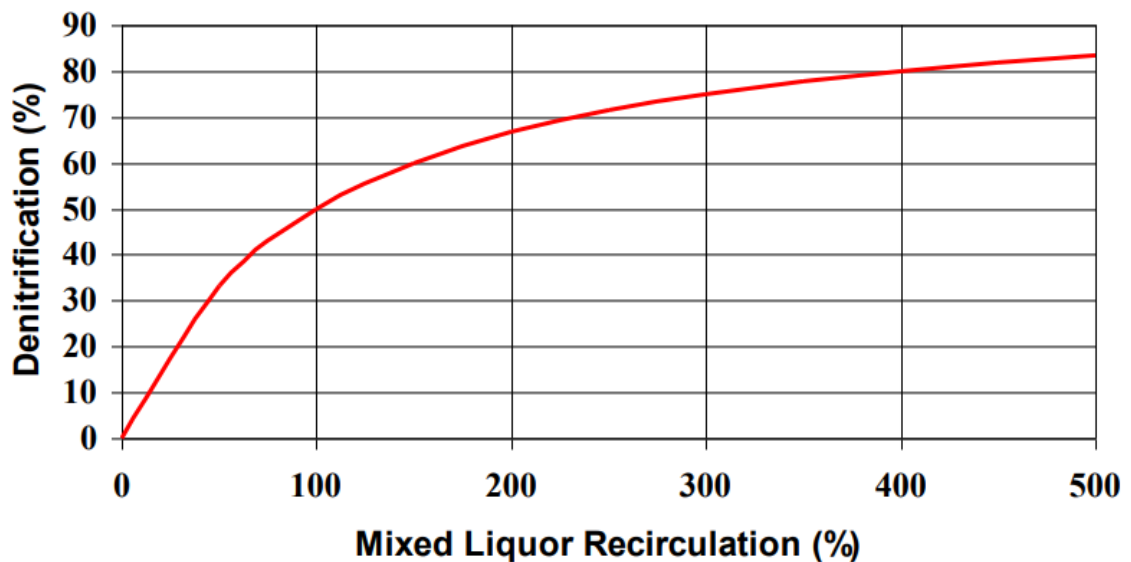
Akaan puhdistamolla on kokeiltu glyserolin syöttöä hiililähteenä vuonna 2018. Tulokset siinä olivat lupaavia, mutta kemikalointi vaatisi tarkempaa tarkastelua ja pidempää koeajojaksoa. Kemikaloinnin vaikutusta hiilen lähteenä ei arvioitu tässä työssä.

4.3.4 Kierrätykset ilmastuksessa

D/N-prosessin toimivuudelle on oleellista, että vettä kierrätetään denitrifikaatio-osuuteen joko suoraan aerobisesta osuudesta ilmastusaltaan päästä tai palautuslietteenä jälkiselkeytyksaltaasta. Teoreettisesti tarkasteltuna mitä suurempi kierrätysaste, sen tehokkaampi denitrifikaatio. Palautuslietteen suurentaminen vaikuttaa välillisesti kuitenkin

selkeytyksen viipymään ja lietekuormaan. (Karttunen, 2004, s. 547). Kuvassa 13 on teoreettinen denitrifikaationopeus kokonaiskierrätysasteen funktiona (Kuva 13). (Enviro Oy, 2017) Kokonaiskierrätykseen lasketaan ilmastuksen sisäinen nitraattikierto sekä palautuslietekierto.

Kuva 13: Kierrätysasteen vaikutus denitrifikaationopeuteen. (Enviro Oy, 2017)



Akaan jätevedenpuhdistamolle on lisätty ja saneerattu kierrätyspumppauksia ilmastuslinjoille. Pumppaukset on suunniteltu niin, että niillä päästään normaaliin virtaama-aikaan noin 150 %:n kierrätysasteeseen (sähköpostikeskustelu, Marja Leimu 24.9.2020). Lisäksi palautuslietepumpuilla päästään yli 150 %:in kierrätysasteisiin. Tavoiteltaessa yli 70 %:n kokonaistypenpoistoa, pitäisi teoreettisen kierrätysasteen olla noin 250 %. Tähän on mahdollista päästä nykyisellään Akaan jätevedenpuhdistamolla.

4.4 Yhteenveto biologisen prosessin tehostamismahdollisuuksista

Työssä tarkasteltiin Akaan jätevedenpuhdistamon mahdollisuuksia tehostaa erityisesti typenpoistoa sekä määritettiin sopivia parametrejä laitoksen käytön tueksi. Akaan puhdistamon typenpoistoon vaikuttaa voimakkaasti virtaamavaihtelut ja ilmastuksen lämpötilan lasku, erityisesti kevään sulamisvesien aikaan. Nitrifikaatioon on laitoksella mahdollisuus noin 8-10 kuukautta vuodessa. Tämä tarkoittaa kokonaistypen lupaehdon 50 %

vuosikeskiarvona laskettaessa sitä, että kuukausina kun typenpoisto on mahdollista on laitoksella saavutettava 60-75 %:in kokonaistypenpoistotehokkuus.

Jätevedenpuhdistamolla on mahdollisuus kompensoida lämpötilan laskua nostamalla lieteikää ja ilmastusaltaan kiintoainepitoisuutta. Tutkimuksessa määritettiin, että lietteen laskeutumisminaisuudet ovat parhaimmillaan, kun lietepitoisuus on ≥ 6 g/l. Lieteikää tulisi säätää lämpötilan mukaan välillä 10-25 päivää.

Tutkimuksessa määritettiin virtaamaa biologiseen osaan. Tämä on tärkeä ohjausparametri määritettäessä ohitusvesien käsittelyyn johdettavan veden määrää. Virtaamaa tarkasteltiin puhdistamon selkeytysaltaiden pintakuorman ja lietekuorman perusteella eri ilmastuksen kiintoainepitoisuuksilla. Lietekuorman perusteella laskettaessa kiintoainepitoisuudella 6 g/l, voidaan ilmastukseen johtaa noin 100 m³/h ilmastuslinjaa kohden.

Hiili-typin -suhde vaikuttaa erityisesti biologiseen kokonaistypenpoistoon eli denitrifikaatioon. Akaan puhdistamolla kesäisin pienillä virtaamilla pitoisuudet laskevat ja hiili-typin -suhde heikkenee entisestään. Vuonna 2021 keskimääräinen ilmastukseen johdettu hiili-typin – suhde oli 2,1, mutta kesällä se laski 1,5. Hiilen määrää on mahdollista lisätä joko ohittamalla esiselkeytystä tai lisäämällä hiiltä ulkopuolelta. Tutkimuksessa laskettiin hiili-typin – suhteen 3,5 vaativan noin 20-50 %:n esiselkeytyksen ohittamisen. Toinen vaihtoehto on lisätä hiiltä ilmastukseen kemikaloinnilla, mutta sitä ei käsitelty tässä työssä. Puhdistamolla ei ole tällä hetkellä mahdollisuutta hallittuun esiselkeytyksen ohittamiseen, muutoin kuin ottamalla toinen esiselkeytysallas kokonaan pois käytöstä.

Kokonaistypenpoistolle ja erityisesti D/N -prosessille on tarpeellista kierrättää lietettä eri lohkojen tai altaan osien välillä. Tavoiteltaessa kokonaistypenpoistotehoa 60 % on kokonaiskierrätyksen oltava ≥ 150 % ja kokonaistypenpoistoteholla 75 % kokonaiskierrätyksen on oltava ≥ 300 %. Akaan puhdistamolla on tehostettu toimintaa saneeraamalla ja lisäämällä kierrätyspumput kaikkiin ilmastuslinjoihin, joten puhdistamolla on mahdollisuus päästä tarvittaviin kierrätysuhteisiin. Huomioitavaa on, että kierrätyksen kasvattaminen lisää jälkiselkeytysten kuormitusta.

5 Jätevedenpuhdistamon tehostamistoimien vaikutus sähkönkulutukseen

Akaan jätevedenpuhdistamolla on tehty investointeja, saneerauksia ja korjaustoimenpiteitä vuosien 2019-2021 aika. Näitä tehostamistoimia on käsitelty tarkemmin luvussa 4.

Ohitusvesien käsittelyn rakentaminen on tuonut laitokselle kokonaan uuden prosessin osan ja rakennuksen, eli toimilla on ollut osaltaan myös sähkönkulutusta lisäävä merkitys. Akaan puhdistamolla ei ole mahdollista tarkastella sähkönkulutusta yksikköprosessi tai laitetasolla, vaan tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kulutusta kokonaissähköenergiankulutuksen kautta. Erityisesti ilmastuksen tehostamistoimilla oletettiin olevan vaikutusta energiatehokkuuteen.

Jätevedenpuhdistamoilla yli puolet käytetystä energiasta kuluu ilmastukseen. Motiva on laatinut yhteistyössä vesihuoltoalalla toimivien organisaatioiden ja vesihuoltolaitosten kanssa esimerkkejä ja toimintakortteja energiatehokkaammasta jätevedenpuhdistuksesta. Henkkeen toteutusaika oli 2016-2018, myös HS-Vesi oli mukana hankkeessa. (Motiva Oy, 2018).

Motivan hankkeesta saatiin erilaisia toimenpiteiksi energiatehokkaampaan ilmastukseen. Yhtenä merkittävänä tekijänä oli hankkia oikeankokoiset kompressorit ja ajamalla niitä optimiarvoilla. Myös säätöventtiileiden ja varolaitteiden toiminta on tärkeää. Ilmastusaltaan pohjalla olevien ilmastimien huolto ja puhtaanapitäminen on tärkeää ilmastuksen tehokkuuden kannalta. Myös oikeanlaisella ohjaustavalla on merkitystä, hapen ylisyyttö altaaseen kuluttaa energiaa. Nykyaikainen tapa tehostaa ilmastuksen ilman tarvetta on sitoa se ammoniumtyypen vaatimaan hapentarpeeseen. Lisäksi instrumentoinnilla on suuri merkitys, koska se ohjaa hapentarvetta. Instrumentointi kannattaa sijoittaa oikein sekä huoltaa ja kalibroida säännöllisesti. (Motiva Oy, 2018).

Akaan jätevedenpuhdistamolla tehdyillä huolloilla, perusparannuksilla ja investoinneilla ollaan pyritty parantamaan myös energiatehokkuutta ja ilmastusaltaan toimivuutta. Varsinkin kompressoreiden, ilmastuslautasten, instrumentoinnin lisäämisen sekä ohjaustapojen muutosten ja säätöventtiileiden huoltojen on todettu vaikuttaneen sähkönkulutukseen. Akaan jätevedenpuhdistamolle on otettu käyttöön muun muassa

ilmastuksen ohjaus happipitoisuuden ohjaus ilmastusaltaassa ammoniumtyppipitoisuuden ohjaamana. Ohitusvesien käsittely-yksikön myötä laitoksella ollaan saatu käsiteltyä suurempia vesimääriä, kun ohitukseen ei ole ollut enää tarvetta.

5.1 Energiankulutuksen mittarointi

Akaan jätevedenpuhdistamolla energiaa mitataan kokonaiskulutuksena, eikä sitä ole eritelty osaprosessien mukaan. Tämän vuoksi energiatehokkuuden paranemista on seurattu kokonaiskulutuksen mukaan tarkasteltuna eri jätevedenpuhdistamolla käytettävien mittarointien mukaisesti. Sähkönkulutuksen muutosta on arvioitu vuosien 2018 – 2021 kokonaiskulutuksista, jotka on saatu energiayhtiön vuosikulutusraporteista ja perustuvat mitattuun kulutukseen koko laitoksella. Tähän kulutuslukemaan sisältyy myös talotekniikan ja toimisto- ja sosiaalitoimien sähkönkulutus, mutta sen osuuden on arvioitu olevan kohtuullisen pieni ja pysynyt vakiona vuosien aikana. Lämmitys jätevedenpuhdistamolla on toteutettu pääsääntöisesti öljylämmityksellä.

Sähkönkulutusta voidaan verrata erilaisilla mittareilla. Näistä yleisesti käytössä ovat sähkön kokonaiskulutuksen määrän vertaaminen puhdistettuun jätevesimäärään.

Kokonaisjätevesimäärään laskettu sähkönkulutus ei kuitenkaan kerro laitokselle tulevasta kuormituksesta, joka vaikuttaa oleellisesti sähkönkulutukseen. Sähkönkulutusta on verrattu myös poistettuun biologiseen hapenkulutuksen eli BOD:n määrään ja OCP-indeksiin (Oxygen consumption Potential). OCP-indeksi kuvaa puhdistamon kokonaisvaltaista puhdistustulosta, koska siinä on huomioitu biologisen hapenkulutuksen BOD:n lisäksi myös kokonaisfosforin ja kokonaistypen puhdistustehot. Indeksiiin on laskettu eri happea kuluttavien ravinteiden painotetut arvot. OCP-indeksi (Kaava 4) on myös vertailukelpoinen työkalu laitosten välillä, koska se ei ota kantaa lupamääräyksiin, laitoksen kokoon tai purkuvesistöön. (Jussila, 2020; HSY, 2021)

Kaava 4: OCP – indeksin laskeminen

$$OCP - indeksin = BOD_{7ATU} + 18N_{kok} + 100 P_{kok}$$

Vertailussa käytettävien mittarien laskentakaavat energiankulutukseen verrattaessa virtaamaan (Kaava 5), Biologiseen hapenkulutukseen (Kaava 6) sekä OCP-indeksiin (Kaava 7).

Kaava 5: Energiakulutus verrattuna virtaamaan

$$\text{Energiankulutus}_{\text{virtaama}} = \frac{\text{Sähköenergiakulutus (kWh)}}{\text{Käsitelty jätevesi (m}^3\text{)}}$$

Kaava 6: Energiakulutus verrattuna biologiseen hapenkulutukseen

$$\text{Energiankulutus}_{\text{BOD}} = \frac{\text{Sähköenergiakulutus (kWh)}}{\text{Puhdistettu BOD (kg)}}$$

Kaava 7: Energiakulutus verrattuna OCP - indeksiin

$$\text{Energiankulutus}_{\text{OCP}} = \frac{\text{Sähköenergiakulutus (kWh)}}{\text{Puhdistettu OCP (t)}}$$

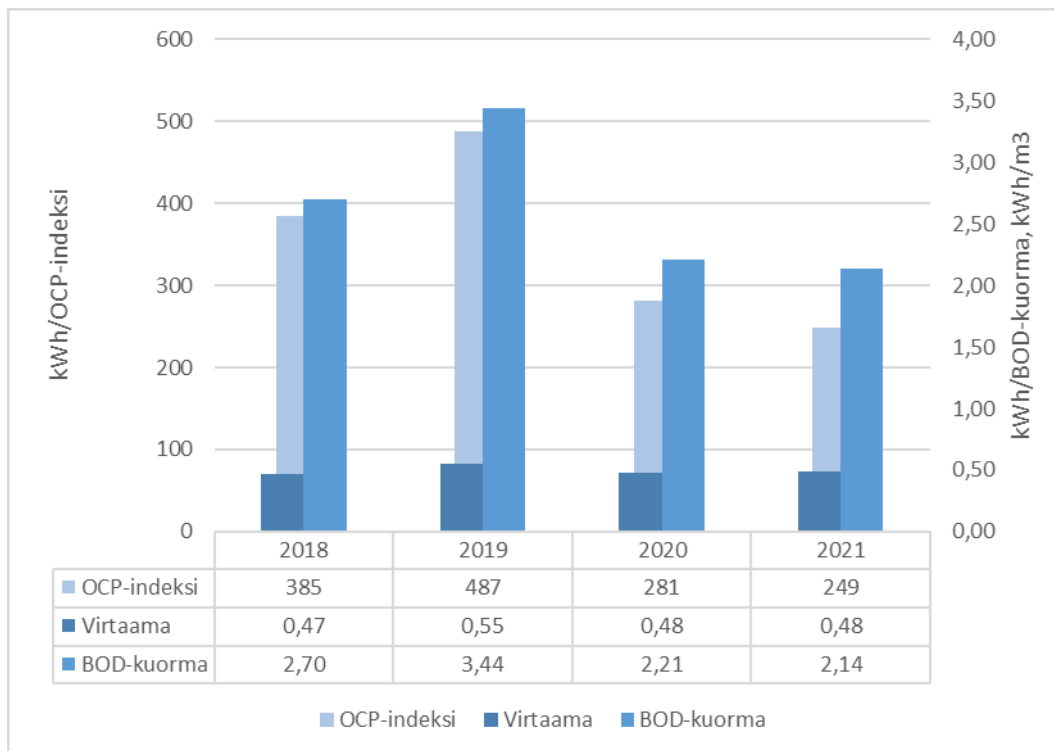
5.2 Energiakulutus Akaan jätevedenpuhdistamolla

Energiakulutusta Akaan jätevedenpuhdistamolla laskettiin verrattuna virtaamaan, biologiseen hapenkulutukseen sekä OCP-indeksiin. Saatuja tuloksia verrattiin muiden puhdistamojen kulutustietoihin. Taulukkoon 10 on kerätty tunnuslukuja Akaan puhdistamolta vuosilta 2018 – 2021 (Taulukko 10. Laskennassa on hyödynnetty velvoitetarkkailun tuloksia. Akaan jätevedenpuhdistamolle on laskettu energiankulutuksen tunnuslukuja kaavojen 5-7 mukaisesti ja ne on esitetty kuvassa 14. (Kuva 14).

Taulukko 10: Akaan tunnuslukuja 2018 – 2021 energiankulutuksen arviointiin

Vuosi	Virtaama (m ³ /a)	Energiankulutus (kWh)	BOD poistuma (t/a)	OCP – poistuma (t/a)
2018	1688830	794190	294	2064
2019	1650068	910440	265	1869
2020	1868652	891486	404	3176
2021	2053778	992960	464	3990

Kuva 14: Energiankulutuksen tunnuslukuja Akaan jätevedenpuhdistamolla vuosina 2018-2021



5.3 Vertailu toisiin laitoksiin

Jätevedenpuhdistamoista suuret laitokset kuluttavat suhteessa vähemmän energiaa virtaamaan ja kuormitukseen nähden. Pienillä laitoksilla keskimääräinen energiankulutus on $1,55 \text{ kWh/m}^3$, keskisuurilla laitoksilla $0,67 \text{ kWh/m}^3$ ja suurilla laitoksilla $0,41 \text{ kWh/m}^3$.

Pieniksi laitoksiksi laskettiin jätevedenpuhdistamon joiden vuorokausivirtaama oli $< 1000 \text{ m}^3/\text{d}$, keskisuuriksi puhdistamot, joiden virtaama on $1000 - 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ ja suuriksi laitoksiksi puhdistamot, joiden virtaama on $> 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Taulukkoon 11 on kerätty puhdistamoilta tietoja energiankulutuksesta ja virtaamista (Taulukko 11).

(Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, ss. 33,38,39)

Taulukko 11: Puhdistamoiden keskimääräiset energiankulutusparametrit

(Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, s. 39)

Energiankulutus (kWh/m ³)	Keskimääräinen virtaama (m ³ /d)	Energiankulutus (kWh/kg poistettu BOD)	Energiankulutus (kWh/t poistettu OCP)
< 0,50	37 900	1,5	280
0,51–1,0	6 400	2,5	400
> 1,0	1 300	7,0	960

Taulukkoon 12 on kerätty tiettyjen jätevedenpuhdistamoiden toimintaan ja energiankulutukseen liittyviä tunnuslukuja (Taulukko 12) (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, s. liite 3). Vertailuun on valittu erikokoisia puhdistamoja ympäri Suomea. Akaan puhdistamon vertailutiedot on vuodelta 2021, muiden puhdistamojen tiedot ovat vuonna 2014 valmistuneesta hankkeesta.

Taulukko 12: Eräiden jätevedenpuhdistamoiden toimintaan ja energiankulutukseen liittyviä tunnuslukuja (Laitinen;Nieminen;Saarinen;& Toivikko, 2014, s. liite 3)

Puhdistamo	Virtaama (m ³ /d)	Energiankulutus (kWh/a)	BOD-poistuma (kg/a)	OCP - poistuma (t/a)	Energiankulutus (kWh/m ³)	Energiankulutus (kWh/kg poistettu BOD)	Energiankulutus (kWh/t poistettu OCP)
Helsinki, Viikinmäki	267 430	39 698 000	23 090 025	167 053	0,41	1,72	237,6
Hämeenlinna, Paroinen	14 790	5 180 076	2 594 134	12 883	0,96	2,00	402,1
Kempele, Lakeuden keskuspuhd.	4 860	1 078 892	685 758	3 776	0,61	1,57	285,7
Orimattila, Vääräkoski	3 120	1 026 271	285 819	169	0,9	3,59	491
Akaa (2021)	5 626	992 960	464 000	3 990	0,48	2,14	249

Verrattaessa Akaan puhdistamon energiankulutuksia muihin laitoksiin on havaittavissa, että puhdistamo toimii verraten energiatehokkaasti. Akaan jätevedenpuhdistamo kuuluu keskimääräisen virtaamansa puolesta keskikokoisiin puhdistamoihin. Puhdistamon virtaamassa on ollut kasvua vuoden 2019 jälkeen, koska ohitusvesien käsittelyn ansiosta on laitoksen käsitellyn veden virtaama kasvanut noin 20 %, samalla uuden prosessiyksikön rakennuttua on myös sähköntarve kasvanut. Ohitusvesien käsittelystä ei kerätä jatkuvatoimisesti energiankulutustietoja, eli tarkkoja tietoja vuosien vaihteluista ei ole

saatavilla. Laitoksella seuratun energiankulutuksen perusteella arvioidaan ohitusvesien käsittelyn lisänneen energiankulutusta noin 10 %:ia.

Puhdistamon tehostunut toiminta ja ohitusvesien käsittely on parantanut puhdistamon puhdistustulosta, mikä näkyy varsinkin energiakulutuksen tehostumisena verrattaessa tulosta BOD-kuormaan ja OCP-indeksiin. Sähkönkulutuksen kasvu yhdessä virtaaman kasvun kanssa on pitänyt energiakulutuksen virtaamaan verrattaessa tasaisena vuosien välillä. Verrattaessa energiakulutusta BOD-kuormaan, on kulutus vähentynyt vuodesta 2018 vuoteen 2021 noin 20 % ja OCP-indeksiin verrattuna 35 %. Koska OCP-indeksiin verrattu vähennys energiankulutukseen on ollut suurin, voidaan tästä arvioida ilmastuksen tehostamistoimien vaikuttavan myös energiankulutukseen positiivisesti, koska OCP-indeksiin on laskettu mukaan kaikkien happea kuluttavien ravinteiden arvot, myös typhen.

Energiankulutus on kasvanut 10 – 20 % verrattaessa vuosia 2020 ja 2021 vuoden 2018 ostettuun energiamäärään. Puhdistamolla on tehostettu myös lämmitysjärjestelmiä ja ilmanvaihtoa, joka lisää energiankulutusta. Koska puhdistamolta ei ole saatavilla reaaliaikaista energian seuranta, on haastavaa arvioida kuinka eri yksikköprosessit kuluttavat energiaa. Vesimääriin, puhdistustulokseen ja muihin laitoksiin verrattaessa Akaan puhdistamo toimii energiatehokkaasti.

6 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Akaan jätevedenpuhdistamon mahdollisuutta kokonaistypenpoistoon, määrittää prosessiparametrejä laitoksen käytön tueksi sekä tarkastella laitoksen kokonaisenergiankulutusta tehtyjen laitosinvestointien ja saneerausten jälkeen. Opinnäytetyö toteutettiin toimintatutkimuksena, jota tukemaan tehtiin kirjallisuustutkimus ja lähtötilanneselvitys. Toiminnallisessa osuudessa jätevedenpuhdistamolta analysoitiin näytteitä sekä tehtiin pienimuotoisia koeajoja laitoksella.

Jätevedenpuhdistamon puhdistustulos on parantunut ohitusvesien hallinnan myötä, kuitenkin ohitusvesien määrän pienentäminen vaatii jatkossakin investointeja

viemäriverkostoon. Tutkimustyössä keskityttiin erityisesti kokonaistypenpoiston vaatimukseen, jonka lupaehtoon laitoksella ei olla päästy. Lisäksi puhdistamon tulosta on tarkasteltu green deal -sopimuksen tavoitteiden mukaisesti, joihin Akaan puhdistamo on sitoutunut yhdessä muiden HS-Veden puhdistamoiden kanssa. Tutkimustyön perusteella Akaan jätevedenpuhdistamolla on mahdollisuus päästä nykyisen ympäristöluvan puhdistusvaatimukseen, lukuun ottamatta kokonaistypen pitoisuusrajaa (mg/l). Green deal -sopimuksen tavoitteet eivät täyttyneet tarkasteltaessa lupaehtoja kokonaisuudessaan - tässäkin kokonaistypen pitoisuusrajat laskivat tuloksen alle sopimuksen tavoitteiden. Ilman kokonaistypenpoiston tehostamista ei ympäristöluvan lupaehtoihin tai green deal -sopimuksen tavoitteisiin päästä.

Tutkimustyössä tarkasteltiin Akaan jätevedenpuhdistamolle tulevan kokonaistypen kuormituksia osana nykytilan selvitystä. Tarkastelujakson 2018-2021 aikana tulevan jäteveden kokonaistyyppikuormitus oli noussut merkittävästi, kuitenkin lähtevän veden tyyppikuorma pysyi vakiona. Kokonaiskuormituksen nousu voi heikentää puhdistamon mahdollisuuksia päästä lupaehtoihin. Kokonaistyyppikuorman kasvuun vaikuttavia tekijöitä, tulisi tarkastella tarkemmin. Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa tarkasteltiin typen esiintymistä eri puhdistusprosessin vaiheissa. Rejektivesien osuus laitokselle tulevasta kokonaistypestä oli 8 % tutkimushetkellä. Myös rejektivesien vaikutusta tulevan kokonaistyyppikuormituksen nousuun kannattaa tarkastella tarkemmin.

Tutkimuksen aikana havaittiin, että yhdeksi ongelmakohtaksi typenpoistossa nousi ilmastuksen hiili-typpi -suhde, joka varsinkin kesäaikaan laskee huomattavan alas. Ympäristöluvan pitoisuusrajat ovat voimassa, kun jäteveden lämpötila on yli 12 °C, tällöin myös kuormitus laitokselle oli pienimmillään ja hiili-typpi -suhde alhaisimmillaan. Laskennallisesti nykyisillä suhteilla ei ole mahdollista päästä alle 20 mg/l:n pitoisuusrajaan. Opinnäytetyössä tehtiin koeajo, jossa tulevaa jätevettä johdettiin suoraan ilmastukseen. Tulokset olivat lupaavia ja tulevaisuudessa asiaa kannattaa tutkia, niin että hiili-typpi -suhdetta parannetaan, joko tulevalla jätevedellä tai kemikaloinnin avulla. Kemikaloinnilla saadaan hiili-typpi -suhde optimoitua tulevaa jätevettä helpommin, mutta tämä vaatii laitoksella investointeja. Lisäksi kemikaalinsyötöistä kalkin annostelu on sellainen, joka vaatisi lisätarkastelun ja investoinnin.

Kylmien sulamisvesien aikaan laitoksen nitrifikaation toiminta keskeytyy ja laitosta on mahdollisuus ajaa typpeä poistavana 8-10 kuukautta vuodesta. Tämä lisää typenpoiston tehostamisen tarvetta erityisesti niinä kuukausina, kun nitrifikaatio on toiminnassa. Tarkasteltaessa kokonaistypen reduktiolupaa olisi laitoksen päästävä 60-75%:n kokonaistypenpoistotehoon niinä kuukausina, kun typenpoisto on mahdollista, jotta 50 %:n vuosikeskiarvo toteutuisi. Tähän on laitoksella päästy kokonaistyyppireduktion vaihdellessa 55-63 %:n vuosikeskiarvona laskettaessa tarkasteluvuosina 2018-2021. Mahdollisuus laitoksen ajamiseen typpeä poistavana ympärivuotisesti antaisi varmuutta puhdistustuloksen saavuttamiseen. Verkostoinvestoinnilla on tässä suuri rooli, mutta toimenpiteet ovat hitaita. Ohitusvesien käsittely on tasannut virtaamaa ja lämpötilaa ilmastukseen, joten sen käytön optimointia kannattaa tarkastella myös ilmastuksen lämpötilojen kannalta sulamisvesiaikaan.

Tutkimustyössä määritettiin laitoksen veloitettarkkailutulosten perusteella optimiparametrejä typenpoiston tehostamiseksi ja laitoksen ajotapojen tueksi. Puhdistamalla on investoitu ja paranneltu laitosautomaatiota sekä jatkuvatoimisia mittauksia. Näiden hyödyntäminen prosessinohjauksessa, sekä nyt määritetyt parametrit, antavat mahdollisuuden tehokkaaseen prosessinohjaukseen, erityisesti typenpoiston kannalta.

Laitoksella tehtyjen saneeraus-, investointi- ja korjaustoimenpiteiden energiatehokkuutta tarkasteltiin, erityisesti huomioiden ilmastuksen tehostamiseen tehdyt toimenpiteet. Tutkimukset ovat osoittaneen ilmastuksen olevan suurin yksittäinen sähköä kuluttava prosessi jätevedenpuhdistamoilla. Tarkasteltaessa Akaan puhdistamon sähköenergiankulutusta verrattuna kuormitusparametreihin on luvuissa tapahtunut selvää laskua. Verrattaessa Akaan puhdistamo muihin suomalaisiin saman suuruisiin jätevedenpuhdistamoihin, on Akaan puhdistamon toiminta varsin energiatehokasta. Akaan puhdistamolla ei ole mahdollisuutta seurata reaaliaikaisesti eri yksikköprosessien sähkönkulutusta, tämä olisi syytä lisätä laitosautomaatioon tehokkaamman tarkastelun tueksi. Puhdistamon pääasiallinen lämmitysmuoto on öljylämmitys. Ohitusvesien käsittely-yksikköä rakennettaessa on laitokselle rakennettu mahdollisuus lämmön talteenottoon lähtevästä jätevedestä, tämä vaatii investointina lämpöpumppujärjestelmän.

Lähteet

- Afry. (2020). *Akaan jätevedenpuhdistamon optimointi, esisuunnitelmaraportti*.
Projektinnumero: 101013473-001, Anne-Mari Aurola; Maija Vilpanen.
- Ahonen, J. (2016). *Yhdyskuntien jätevesien typenpoiston oikeudelliset perusteet ympäristöluvituksessa*. Itä-Suomen yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunta. Tampere: Juvenes Print - Suomen Yliopistopaino.
- Aluehallintovirasto. (28. 12 2012). Lansi-Suomen Aluehallintovirasto. *Ympäristölupapäätös, Akaan jätevedenpuhdistamo (LSSAVI/448/04.08/2010)*. .
- Enviro Oy. (1. 11 2017). *Eero Meskus*. Haettu 14. 9 2022 osoitteesta <https://skvsy.fi/wp-content/uploads/2019/11/Prosessinhallinnan-ty%C3%B6kalut-Eero-Meskus-JS-Enviro-Oy-1.11.2017.pdf>
- EPA. (Tammikuu 1999). *EPA; United States Environmental Protection Agency*. Haettu 27. 12 2021 osoitteesta Nutrient Control Design Manual; State of Technology Review Report: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/nutrient-control-design-manual-state-tech.pdf>
- FCG. (2018). *Akaan jätevedenpuhdistamon ohitusvesien erilliskäyttely. Prosessi KVR-urakan prosessitekniset vaatimukset*. FCG Suunnittelu ja tekniikka.
- HSY. (2020). *Proteiinin liikasyönti rehevöittä Itämerta*. Haettu 12. 10 2022 osoitteesta <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/typpikuorma/>
- HSY. (2021). *Helsingin Seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä*. Haettu 29. 6 2022 osoitteesta Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2021, Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamot: <https://julkaisu.hsy.fi/jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2021.html#cjwNBf6EjM>
- Jussila, S. (2020). *Energian kulutuksen ja tuotannon kehittämistoimet jätevedenpuhdistuksessa*. Haettu 29. 6 2022 osoitteesta Tampereen yliopisto, Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta, diplomityö: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/122918/JussilaSaku.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Karttunen, E. (2004). *RIL124-2 Vesihuolto II*. Vammala: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- Kemira. (2020). *Water Handbook about Water treatment*. Helsinki: Kemira Oyj.

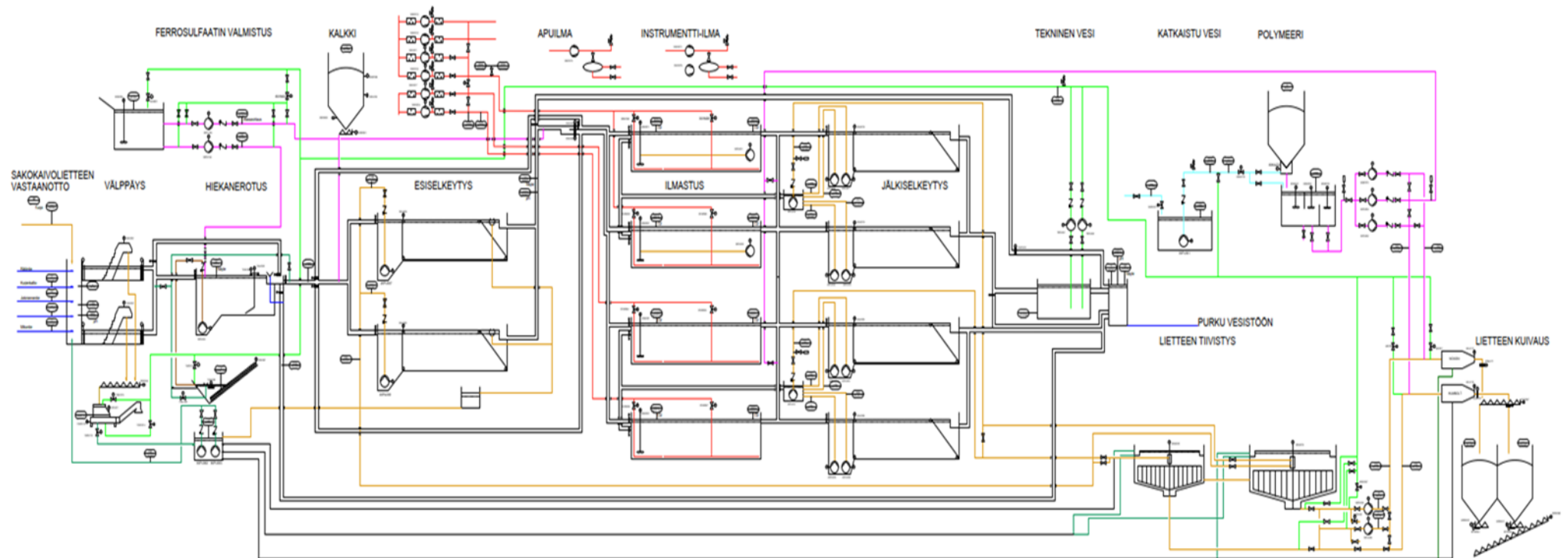
- KVVY. (2018). *Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n Akaan jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2018*. KVVY Tutkimus Oy:n raportti nro 641/19.
- KVVY. (2019). *Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n Akaan jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2019*. KVVY Tutkimus Oy:n raportti nro 330/20.
- KVVY. (2020). *Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n Akaan jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2020*. KVVY Tutkimus Oy:n raportti 387/21.
- KVVY. (2021). *Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n Akaan jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun vuosiyhteenveto 2021*. Raportti nro 332/22: KVVY Tutkimus Oy.
- Laitinen, J.;Nieminen, J.;Saarinen, R.;& Toivikko, S. (2014). *Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) (Osa/vuosik. Suomen ympäristö 3/2014)*. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 21. 6 2022 osoitteesta <https://core.ac.uk/download/pdf/198183871.pdf>
- Mogens, H.;van Loosdrecht, M. C.;Ekama, G. A.;& Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design*. Lontoo: IWA.
- Motiva Oy. (2018). *Energiatehokas vesihuoltolaitos*. Haettu 29. 6 2022
- Rantanen, P.;Aurola, A.-M.;Hakkila, K.;Hernesmaa, A.;Jorgensen, K.;Laukkanen, R.;. . . Pauli, A. (1999). *Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia*. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.
- Renkonen, M. (2014). *Esisaostuksen vaikutukset aktiivilieteprosessin kuormitusvaihteluiden hallinnassa, Kemianteeniikan diplomityö*. Aalto yliopisto, Kemianteeniikan koulutusala.
- RIL 192-1991. (1991). *Vesihuoltolaitosten peruskunnostus, pintavesilaitokset ja jätevedenpuhdistamot*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto ry.
- Sitoumus 2050. (5. 11 2022). Noudettu osoitteesta Valtakunnalliset green deal -sopimukset edistämässä kiertotaloutta ja ilmastonmuutoksen hillintää: <https://sitoumus2050.fi/tietoa-green-dealista#/>
- Veolia. (1. Lokakuu 2019). *Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n Akaan jätevedenpuhdistamon ohitusvesien käsittelyn käyttö- ja huolto-ohjeet*.
- VVY. (2015). *Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja nro 35*. Noudettu osoitteesta Selvitys jätevesiohituksista.
- VVY. (2016). *Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa*. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja nro 42.

Ympäristöministeriö. (2021). *Sitoumus 2050*. Haettu 4. Tammikuu 2021 osoitteesta Green

Deal. Yhdyskuntajäteveden puhdistamisen green deal-sopimus.:

https://sitoumus2050.fi/documents/20143/614957/Yhdyskuntaj%C3%A4teveden+puhdistamisen_green+deal_allekirjoitettu.pdf/693d2817-dfdb-8af2-96ec-919832e5cadc

Liite 1: Akaan jätevedenpuhdistamon PI-kaavio (Rambol, 2016)



Liite 2: Typen eri fraktioiden määrittäminen

Akaan puhdistamolta haettiin näytteet, jotta saataisiin selvitettyä typen määrät ja esiintymismuodot puhdistamon eri prosessiyksiköiden välillä.

Näytepäivä: 24.8.2022, näytteet tutkittiin KVVY:n laboratoriossa.

Näytteenottaja: Elina Lehtinen

Näytepisteet: Tuleva jätevesi, esiselkeytetty jätevesi, ilmastettu jätevesi, lähtevä vesi sekä rejektivesi.

Virtaamat: Tuleva vesi 4154 m³, rejektiveden virtaus 160 m³.

Näytteet kerättiin laitoksen automaattisilla näytteenottimilla, lukuun ottamatta ilmastetun jäteveden ja rejektiveden näyteitä. Nämä näytteet kerättiin käsin kokoomanäytteenä työpäivän aikana, näytteenottoväli oli noin 1 tunti.

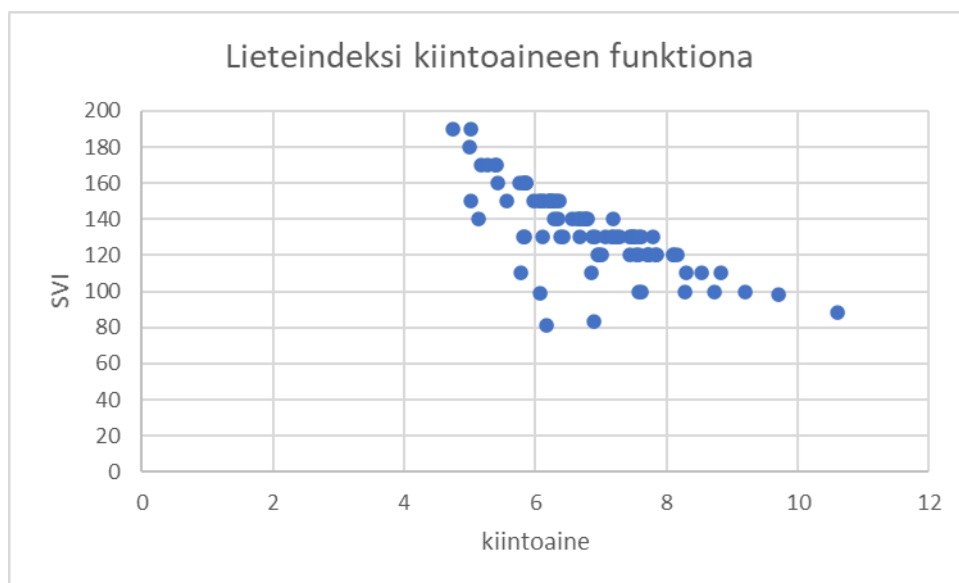
Tulokset:

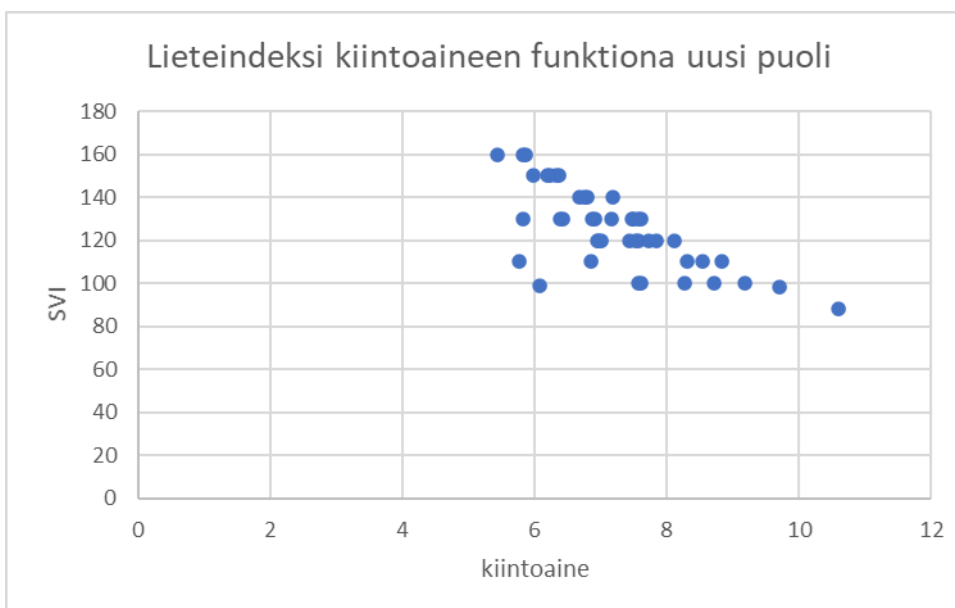
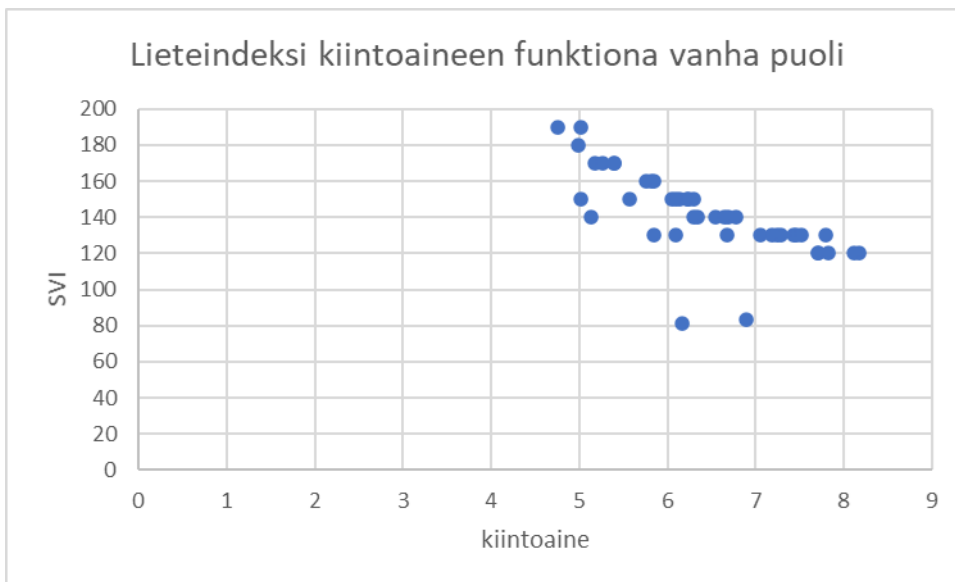
Määrittäminen	Yksikkö	Näytepisteet				
		Tuleva jätevesi	Esiselkeytetty jätevesi	Ilmastettu jätevesi	Lähtevä vesi	Rejektivesi
Kokonaistyyppi N _{kok}	mg/l	87	69	31	30	180
Nitraattityppi NO ₃	mg/l N	0,38	< 0,2	23	21	< 0,2
Nitriittityppi NO ₂	mg/l N	0,021	0,016	0,13	0,49	0,021
Ammoniumtyppi NH ₄	mg/l N	82	46	< 1	1,4	90
Orgaaninen typpi N _{org}	mg/l laskettu	4,6	22,9	7,87	7,11	90

Orgaaninen typpi on laskennallisesti määritetty olettamalla, että muu kuin liukoisen typen jakeet ovat orgaanista.

Liite 3: Lieteindeksit

Tarkkailukerta	Kiintoaine				SVI			
	Ilmastus 1	Ilmastus 2	Ilmastus 3	Ilmastus 4	Ilmastus 1	Ilmastus 2	Ilmastus 3	Ilmastus 4
1/2021	5,57	6,13	6,79	6,75	150	150	140	140
2/2020	6,34	6,89	7,19	7,17	140	83	140	130
3/2020	6,24	6,77	7,5	7,48	150	140	130	130
4/2020	6,69	7,18	7,62	7,58	140	130	130	130
5/2020	4,99	5,4	5,83	5,82	180	170	160	130
6/2020	4,75	5,02	7,54	7,73	190	190	120	120
7/2020	5,17	5,27	8,72	8,54	170	170	100	110
8/2020	6,29	6,64	7,62	7,58	140	140	100	100
9/2020	5,81	6,05	6,95	6,85	160	150	120	110
10/2020	5,85	6,09	6,91	6,96	160	150	130	120
11/2020	6,29	6,22	6,87	6,42	150	150	130	130
12/2020	7,83	8,17	7,01	6,38	120	120	120	130
1/2021	7,43	7,46	5,98	5,86	130	130	150	160
2/2021	7,79	8,11	6,67	6,36	130	120	140	150
3/2021	7,93	8,05	6,47	6,47				
4/2021	7,24	7,71	8,83	9,19	130	120	110	100
5/2021	7,06	7,52	5,43	6,33	130	130	160	150
6/2021	5,84	6,1	7,43	8,3	130	130	120	110
7/2021	5,01	5,14	7,57	8,27	150	140	120	100
8/2021	6,55	6,68	9,71	10,6	140	130	98	88
9/2021		6,17	5,77	6,07		81	110	99
10/2021	5,39	5,76	6,2	6,23	170	160	150	150
11/2021	7,29	7,71	7,85	8,11	130	120	120	120
MINIMI	4,75	5,02	5,43	5,82	120	81	98	88
KESKIARVO	6,33	6,62	7,15	7,26	147	137	127	123
MAKSIMI	7,93	8,17	9,71	10,6	190	190	160	160





Liite 4: Koeajot esiselkeytyksen ohittamiseen

Koeajon tarkoituksen oli tarkastella olisiko esiselkeytyksen ohittamisella mahdollista pitää typpipitoisuus alle ympäristöluvan raja-arvon 20 mg/l (lämpötilan ollessa +12 °C). Koeajossa pumpattiin uoppopumpulla esiselkeytyksen alkuosasta vettä palautuslietekanavaan, josta se johdettiin puhdistamon ilmastuslinjoille 1-2.

Koejärjestelyissä käytettiin uoppopumppua. Virtaamaa ei mitattu, mutta virtaaman määräksi arvioitiin noin 700 m³/d pumpun nimellistuoton mukaan. Tulokset kerättiin laitoksen automaatiojärjestelmän (Insta, Wahti-raportointi) kautta jatkuvatoimisilta ammonium- ja nitraattimittauksilta sekä virtausmittaukselta.

Toukokuu 2022

Pvm	NH4 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	NO3 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	luparaja	Tuleva jätevesi (koko laitos)
1.5.2022	3	9	20	8416
2.5.2022	3	7	20	8402
3.5.2022	4	8	20	8056
4.5.2022	2	9	20	7380
5.5.2022	3	9	20	7176
6.5.2022	3	11	20	6990
7.5.2022	2	11	20	7518
8.5.2022	3	12	20	7100
9.5.2022	3	12	20	6614
10.5.2022	2	13	20	6428
11.5.2022	2	12	20	6526
12.5.2022	1	11	20	6574
13.5.2022	2	9	20	6148
14.5.2022	1	11	20	5690
15.5.2022	0	14	20	5440
16.5.2022	0	16	20	5440
17.5.2022	1	15	20	5224
18.5.2022	0	18	20	5118
19.5.2022	0	17	20	5004
20.5.2022	0	19	20	4920
21.5.2022	0	19	20	4682
22.5.2022	0	21	20	4570
23.5.2022	0	24	20	4582

24.5.2022	0	24	20	4506
25.5.2022	0	23	20	4366
26.5.2022	0	24	20	4912
27.5.2022	0	23	20	5914
28.5.2022	0	22	20	5280
29.5.2022	0	22	20	4928
30.5.2022	0	22	20	4694
31.5.2022	0	21	20	4818

Kesäkuu 2022

Pvm	NH4 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	NO3 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	Tuleva jätevesi (koko laitos)
1.6.2022	0	21	4716
2.6.2022	0	21	4962
3.6.2022	0	21	6838
4.6.2022	0	18	6844
5.6.2022	0	17	5170
6.6.2022	0	18	4858
7.6.2022	0	18	4654
8.6.2022	0	16	7854
9.6.2022	0	15	7152
10.6.2022	0	15	6048
11.6.2022	0	15	5232
12.6.2022	0	17	4816
13.6.2022	0	18	5304
14.6.2022	0	20	5026
15.6.2022	0	19	4728
16.6.2022	0	18	4490
17.6.2022	0	19	4290
18.6.2022	0	19	5686
19.6.2022	0	18	5948
20.6.2022	0	17	4810
21.6.2022	0	18	4546
22.6.2022	0	18	4356
23.6.2022	0	17	4218
24.6.2022	0	18	3844
25.6.2022	0	19	3658
26.6.2022	0	19	3716
27.6.2022	0	20	3972
28.6.2022	0	19	5316
29.6.2022	0	14	4252
30.6.2022	0	14	3934

Heinäkuu 2022

Pvm	NH4 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	NO3 lähtevä vesi (ilmastuslinjat 1-2)	Tuleva jätevesi (koko laitos)
1.7.2022	0	16	3786
2.7.2022	0	18	3780
3.7.2022	0	19	3624
4.7.2022	0	20	3708
5.7.2022	0	20	3738
6.7.2022	0	20	3886
7.7.2022	0	20	3962
8.7.2022	0	21	3474
9.7.2022	0	21	3400
10.7.2022	0	22	3358
11.7.2022	0	22	3488
12.7.2022	0	21	3352
13.7.2022	0	21	3986
14.7.2022	1	23	3978
15.7.2022	0	24	3618
16.7.2022	0	22	3386
17.7.2022	0	21	3600
18.7.2022	0	21	3628
19.7.2022	1	20	3592
20.7.2022	1	19	3466
21.7.2022	0	20	3432
22.7.2022	1	21	3354
23.7.2022	1	21	5136
24.7.2022	1	17	4140
25.7.2022	0	17	3638
26.7.2022	1	17	3808
27.7.2022	1	18	3684
28.7.2022	1	19	3494
29.7.2022	1	19	3464
30.7.2022	1	20	3328
31.7.2022	1	20	3302