

Päätoteuttaja Jätekukko Oy ja hankekumppani Savonia-ammattikorkeakoulu

Jätekeskuksen vesien ravinteiden talteenoton paikallinen symbioosi

KIERTO-hankkeen loppuraportti 16.12.2024 - VN/10065/2023

Hankkeen kesto: 1.4.2023-
31.12.2024



Hanke on saanut rahoitusta hankehausta ”Ympäristöministeriön hankkeet biohajoavien jätejakeiden ravinne- ja energiapotentiaalin hyödyntämiseksi – Ravinteiden kierrätysohjelma, raki (RRF)”



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

TIIVISTELMÄ

Hankkeessa selvitettiin ravinteiden puhdistusta ja talteenottoa Jäte kukko Oy:n Kuopion jätekeskuksen jätevesistä lopullisena päämääränä monistettavan, teknistaloudellisesti käyttökelpoisen toimintamallin luominen vastaavanlaisille jätekeskuksille. Lisäksi tavoiteltiin ravinteiden kierrättämisen symbioosin mahdollisuuksia Jäte kukkon alueella pääpainona typpi ja fosfori. Paitsi kierrätyslannoitteina, talteen otettua typpeä ja fosforia voidaan potentiaalisesti hyödyntää teollisuuden tarpeissa, joissa molempien yhdisteille on moninaisia käyttökohteita (mm. ammoniakkin valmistus ja akkumateriaalit). Vaikka yhden jätekeskuksen osalta talteen otettujen typen ja fosforin määrät olisivatkin melko pienet, voivat vaikutukset moninkertaistua useampaan kohteeseen toteutettuna.

Hankkeessa tehtiin selvityksiin kuului fysikaalisia, biologisia ja kemiallisia menetelmiä sekä näiden yhdistelmiä, joista perusteellisemmin syvennyttiin biologisen kantoaineprosessin ja Biobros Oy:n kehittämän sähkösaostuksen yhdistelmään (MBBR+EC), ioninvaihtoteknologioihin (Weeefiner 4D-teknologia), Veolia Aquaflow:n Actiflo-hiekkalaskeutusmenetelmään sekä aktiivi- ja biohiilisuodatuksen. Raportti valottaa kyseisten menetelmien käyttökelpoisuutta hyötyineen ja rajoitteineen. Lisäksi tiivistetään Jäte kukkon jätevesiasiantuntijan Jari Heikkisen kokemukseräisiä havaintoja, kirjallisuustutkimusten tuloksia ja Benchmarking-kohteiden, mm. Veolia-Aquaflow:n ja NPHarvestin prosesseja Jäte kukkon kaltaisiin jätekeskuksiin soveltamisen kannalta.

Hankkeen Jäte kukkoa koskevana tavoitteena oli laatia lisäksi kokonaisvaltainen investointisuunnitelma veden puhdistuksen ratkaisuihin ja tasausaltaan suunnitteluun ja mitoittamiseen.

Hankkeen tuloksena saatiin arvokasta tietoa jätevedenpuhdistusmenetelmistä ja ravinteiden talteenoton mahdollisuuksista. Erityisesti typen talteenotto todettiin haasteelliseksi, koska Jäte kukkon jätevesien kylmyyden takia kaikki biologiset prosessit ovat epävarmoja ja hitaita, ja kemiallisia käsittelyjä vaikeuttaa puolestaan typpiyhdisteiden runsasliukoisuus. Talteen otettavan typen osalta löydettiinkin vain yksi potentiaalinen ravinteiden kierrätykseen soveltuva tekniikka, joka oli Weeefiner Oy:n 4D Sieppariteknologia. Menetelmällä päästään yli 70 % typpireduktioon. Teknologisesti prosessi on vasta kehittymässä, mutta tulevaisuudessa mahdollinen ja pilotoimisen arvoinen.

Jopa yli 90 % jäteveden fosforista saatiin testatuista tekniikoista talteen sähkösaostuksella ja Actiflo-hiekkalaskeutuksella. Tätä pienemmillä reduktioilla fosforia saatiin talteen aktiivi- ja biohiilitestien yhteydessä ($\text{PO}_4\text{-P}$ reduktio-% max. 70 %). Kaikilla näillä tekniikoilla fosfori on sitoutuneena muihin aineisiin lietteessä, ja sen kierrätyskäyttö vaatii jatkojalostamista ja -tutkimuksia vielä.

Tutkimusten ja selvitysten perusteella Jäte kukkolle ehdotetaan seuraavaa:

1. Jätevesien erottelu ja käsittely

- Väkevät ja laimeat jätevedet erotellaan toisistaan, ja molemmille jakeille rakennetaan ilmastetut tasausaltaat.
- Laimeat jätevedet käsitellään aluksi kemiallisessa puhdistamossa, jolla saadaan talteen orgaanista ainesta ja fosforia.
- Kemiallisena puhdistuksena toteutetaan parhaaksi vaihtoehdoksi todettu flotaatioprosessi, joka soveltuu myös väkeville jätevesille ja tuottaa riittävän sakeaa lietettä. Puhdistamo

suunnitellaan riittävän suureksi, jotta se pystyy tulevaisuudessa käsittelemään myös väkevät jätevedet.

- Liete voidaan hyödyntää lannoitteena symbioosikumppani Gasumin kautta tai kompostoimalla.

2. Typen ja fosforin talteenotto:

- Odotetaan, että markkinoilla on saatavilla luotettava menetelmä nitraatin erotukseen, jossa lopputuote on käyttökelpoisessa muodossa. Tämä voi olla tässä hankkeessa esitetty Weeefinerin prosessi. Siinä vaiheessa pilotoidaan nitrifiointi + typenerotusprosessia kokonaisjätevesillä aidossa lämpötilassa. Weeefinerin tavoitteena on tuottaa kaliumnitraattia, jota voidaan käyttää suoraan lannoitteena.
- Kun typen talteenottomenetelmä on todettu toimivaksi, prosessia laajennetaan koskemaan kaikkia jätevesiä.
- Nykytekniikoilla fosfori saadaan talteen yli 70 prosenttisesti, mutta niukkaliukoisina yhdisteinä, joiden hyödyntämispotentiaalia on tarpeen tutkia jatkossa.

Afry Oy:n toteuttama vedenpuhdistusratkaisujen ja tasausaltaan suunnittelun ja mitoituksen selvitys valmistuu hankkeen aikana ilmaantuneista hidasteista johtuen vasta keväällä 2025. Näin ollen varsinainen suunnittelu ja sitä myötä kustannusarvio näistä ovat saatavissa raporttien muodossa Jäte kukolta myöhemmin.

SISÄLLYS

Tiivistelmä	1
Kuvaluettelo	4
Hankkeen ydin ja toteuttajat	4
Rahoituslähteen tiedot ja hankkeesta tiedottaminen	6
Ravinteiden talteenoton tausta ja tarpeet nykytilanteessa	6
Hankkeen toteutus	7
Hankkeen työvaiheet pähkinäkuoressa	8
Toteutetut tutkimukset ja käytännön pilotoinnit	10
Hule- ja suotovesien sisällön ja volyymin analyysit	12
MBBR-prosessi ja sähkökemiallinen saostus (Biobros Oy:n EC)	12
Ioninvaihto (Weefinerin metallisiepparitutkimus)	15
Bio- ja aktiivihiilisuodatuskoe	15
Actiflo-pilotointi	16
Benchmarking-kohteet Suomessa	17
Veolia-Aquaflow	17
NP Harvest	17
HSY Viikinmäki	18
Laitte- ja investointisuunnitelma Jätekukon jätekeskukseen	18
Hankkeen tulokset	19
Biologiset menetelmät	19
MBBR+EC -menetelmä (ja lietteen erotus)	20
Kemialliset menetelmät (koagulaatio, flokkaus, suodatus)	21
Actiflo-hiekkalaskutusprosessi	21
Kalvo- ja suodatusmenetelmät	22
Ioninvaihto (Weefiner 4D-sieppariteknologia)	23
Investointisuunnitelma ravinteiden talteenoton jatkuvasta laitoksesta Jätekukolle	23
Hankkeelle asetettujen kriteerien toteutuminen	25
Ravinteiden talteenottopotentiali	25
Tekninen valmiusaste	25
DNSH-kriteerit	25
Hankkeen vaikutukset	26
Ravinteiden kierrätys	27
Kiertotalouden toteutumisen hyödyt	27
Onnistumisen edellytykset	27

Talousraportti	28
Yhteenveto	28
Jatkotutkimusehdotukset	28
Symbioosin mahdollisuudet ja haasteet kaupallisessa kontekstissa	29
Hankkeen lopputuotokset	30
Hankkeen osarahoittajat	31

KUVALUETTELO

Kuva 1 Hankkeen osapuolten rooli ravinteiden talteenoton tutkimuksessa ja talteen otettujen ravinteiden hyödyntämisessä.	6
Kuva 2 Kuopion jätekeskuksen alue, jossa näkyy oikealla mm. jäteveden tasausalla, jonka luokse MBBR-laitteisto siirrettiin. Kuvan lähde: https://vuosikertomus.jatekukko.fi/2018/sosiaalinen-vastuu/toimintaa-vuonna-2018.html ..	11
Kuva 3 Ilmakuva Jäte kukkon tasausaltaasta ja pilotointikonteista. Nykyisin kenttä- ja suotovesistä koostuva tasausaltaan vesi pumpataan pumppauskaivon kautta Kuopion veden operoimalle kunnalliselle jäteveden puhdistamolle.	12
Kuva 4 MBBR- eli liikkuva peti bioreaktorin ytimenä on mm. ilmastusallas, jossa kantoainekappaleet sijaitsevat (Kuvan lähde: http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202204201606.pdf).	13
Kuva 5 Elektrokoagulaation (EC) periaate.	14
Kuva 6 Biobros Oy:n EC-pilottilaitteisto merikontin sisässä. Kontti on jaettu prosessipuoleen (vasemmalla) ja valvomoon (oikealla).	14
Kuva 7 Actiflo-pilottiyksikkö	16

HANKKEEN YDIN JA TOTEUTTAJAT

Hankkeen tarkoituksena oli luoda symbioosi Jäte kukko Oy:n (jäljempänä Jäte kukko) alueella syntyvien suoto- ja hulevesien ravinteiden talteenottoon. Hankkeen päätoteuttajana toimi Jäte kukko. Jäte kukko on kuntien omistama palveluyhtiö, jonka toimialue kattaa 15 kuntaa, yhteensä noin 215 000 asukasta. Jäte kukkon jätekeskuksen alueella on seitsemän hehtaaria asvaltoituja kenttiä, jotka on vuokrattu noin kymmenelle toimijalle.

Osatoteuttajana hankkeessa toimi Savonia-ammattikorkeakoulu Oy:n Vesiturvallisuus-vahvuusala (jäljempänä Savonia), joka tekee soveltavaa tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa painopisteinään vedenkäsittelyteknologiat ja älykkäät vesihuollon ratkaisut. Yksiköllä on käytettävissään monipuoliset laboratoriopuitteet sekä kokeelliseen vesitutkimukseen että mikrobiologisten vedenkäsittelyprosessien käytännön pilotointiin. Vesiturvallisuus-vahvuusala on erikoistunut liikuteltavien pilot-mittakaavan koelaitteistojen hyödyntämiseen soveltavassa tutkimuksessa erityisesti kenttäkohteissa.

Symbioosikumppaneina hankkeessa toimivat Kuopion vesi ja Gasum. Gasum käsittelee nykyään erilliskerättävät biojätteet Jäte kukkon toimialueelta ja jätevedenpuhdistamojen lietteet sekä tuottaa biokaasua ja ravinteita. Kuopion Vesi puolestaan puhdistaa Jäte kukkon toimittaman veden, mutta ei ota toistaiseksi talteen ravinteita.

Päätoteuttaja**Jätekukko Oy**

1710559-7

Puutarhakatu 9

70300 Kuopio

Hankekumppani**Savonia-ammattikorkeakoulu**

2629463-3

Microkatu 1 B

70210 Kuopio

Yhteyshenkilö

Jari Heikkinen

Jätevesiasiantuntija

044 368 0249

Yhteyshenkilö

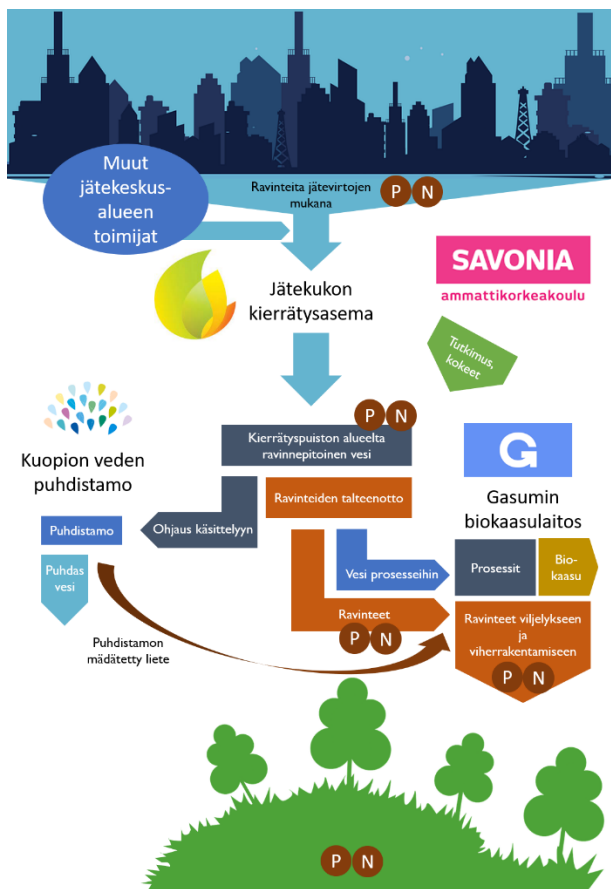
Olli Torvinen

Tutkimusinsinööri

044 785 5563

olli.torvinen@savonia.fi

Kuva 1 esittää hankekonsortiota ja kunkin suunniteltua roolia ravinteiden hyödyntämiseksi rakennettavassa symbioosissa.



Kuva 1 Hankkeen osapuolten rooli ravinteiden talteenoton tutkimuksessa ja talteen otettujen ravinteiden hyödyntämisessä.

RAHOITUSLÄHTEEN TIEDOT JA HANKKEESTA TIEDOTTAMINEN

Hankkeen rahoituksen on myöntänyt Ympäristöministeriö valtionavustuslain (688/2001) mukaisena valtionavustusviranomaisena. Hankkeen myönnetty tuki on Euroopan unionin Next Generation EU -rahoitusta Suomen kestävä kasvun ohjelmasta eli EU:n elpymis- ja palautumistukivälineestä.

Hankkeesta on tiedotettu Ympäristöministeriön tiedotteessa koskien Hankkeita yhdyskuntien biohajoavien jättejakeiden ravinne- ja energiapotentialin hyödyntämiseksi eli [Raki-ohjelman tiedotteessa](#). Lisäksi hankkeen vaiheista ja etenemisestä on tiedotettu [Jäte kukkon LinkedIn-sivustolla](#), jonne loppupostaus on tulossa joului- tai tammikuussa. Myös [Savonian sanomissa](#) on mainittu KIERTO-hankkeesta ja sen tutkimuksista liittyen mm. mikrobiologiseen typen poistoon.

Hankkeen aikana on laadittu kymmenkunta raporttia toteutetuista selvityksistä ja tutkimuksista ([Hankkeen lopputuotokset](#)), joissa tavoitteet, koeasetelmien kuvaukset, ongelmatilanteet ratkaisuihin sekä tulokset löytyvät yksityiskohtaisesti. Raportit ovat saatavilla Jäte kukkolta pyydettäessä.

RAVINTEIDEN TALTEENOTON TAUSTA JA TARPEET NYKYTILANTEESSA

Hankkeen pääfokus on valottaa monipuolisten tutkimusten kautta käytännön ratkaisuja ja menetelmiä siirryttäessä vesien ravinnekuormituksen vähentämisestä ravinteiden talteenottoon, erityisesti suhteellisesti kylmien kaatopaikkavesien kontekstissa. Jätevesien käsittelyyn olisi otettavissa käyttöön paljon nykyistä vahvemmin symbioottisia ratkaisuja muun muassa kunnallisten ja paperi- ja sellutehtaiden puhdistamojen yhdistämisen kautta, joissa olisi odotettavissa molemminpuolisia hyötyjä. Tähän mennessä kuitenkin vain yksi kuvatus kaltainen on toteutunut Raumalla.

Suomessa yhdyskuntajätevesien ravinteiden talteenottoa ohjaa useampi lainsäädännöllinen sääntelykehys. Keskeisiä ovat ympäristönsuojelulaki ja siihen liittyvät asetukset, jotka asettavat vaatimuksia jätevesien käsittelylle ja ravinteiden poistolle. Lisäksi Euroopan unionin yhdyskuntajätevesidirektiivi (91/271/ETY) asettaa vaatimuksia jätevesien keräämiselle ja käsittelylle. Uusi yhdyskuntajätevesidirektiivi (2024/3019)¹ astuu voimaan 1.1.2025 ja se tulee toimeenpanna kansallisesti 31.7.2027 mennessä. Komissiolle on annettu valtuudet täsmentää vähimmäistavoitteet yhdyskuntajätevedestä peräisin olevan fosforin uudelleenkäytölle ja kierrätykselle. Lisäksi komissio arvioi myöhemmin, onko toteuttamiskelpoista ja asianmukaista asettaa unionin vähimmäistavoitteet myös typen uudelleenkäytölle ja kierrätykselle.

Suomen lainsäädäntö on mm. päästörajojen suhteen tiukempi kuin EU:n direktiivin vaatimukset, erityisesti rehevöitymiselle herkillä alueilla. Lisäksi Suomen lainsäädäntöön sisältyy tarkempien ja säännöllisempien jäteveden käsittelyn seurannan ja raportoinnin vaatimukset.

Euroopan viimeaikaiset tapahtumat ovat entisestään vauhdittaneet kiinnostusta kierrätysravinteiden hyödyntämiseen yhteiskunnan ravinneomavaraisuuden ja huoltovarmuuden roolin korostuessa.

[Ympäristöministeriön vuonna 2023 tilaamassa selvityksessä](#) on tarkasteltu erilaisia ravinteiden, erityisesti typen ja fosforin, talteenottomenetelmiä, kuten struviitin saostusta, strippausta ja kalvomenetelmiä, NPHarvest-teknologiaa, fosforin talteenottoa ja pyrolyysiä, ja annettu suosituksia niiden käytön edistämiseksi. Menetelmistä tällöin saatavilla oleva tieto oli vielä eri tasoista, ja selvityksessä tunnistettiin tarve lisätutkimuksille, johon tämä hanke osaltaan vastaa valottamalla mahdollisuuksia potentiaalisten menetelmien käyttöönottoon erityisesti melko alhaisen vuorokauden keskilämpötilan olosuhteissa.

HANKKEEN TOTEUTUS

Jäte kukkon jätekeskuksen toiminnassa syntyy kahdenlaisia vesiä:

- Hulevedet, jotka valuvat alueen asfaltoiduilta alueilta. Hulevesissä on kohtalaisen pieninä pitoisuuksina ravinteita, metalleja ja muita yhdisteitä. Hulevesien virtaamat voivat olla ajoittain melko suuria, ajoittain – esimerkiksi talvella – puolestaan hyvinkin minimaalisia.
- Suotovedet eli kaatopaikan valumavedet. Suotovesissä on korkeampia pitoisuuksia typpeä pääosin ammonium-muodossa. Suotovesien volyymi on tasaisempi ympäri vuoden.

Tällä hetkellä Jäte kukkon alueelta peräisin olevat likaisemmat suoto- ja epäpuhtaat hulevedet on pumpattu 15 kilometrin päähän Kuopion Veden jätevedenpuhdistamolle. Ravinteiden talteenoton lisäksi hankkeessa onkin tavoiteltu tämän korvautumista paikan päälle toteutettavalla puhdistamolla.

¹ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202403019

HANKKEEN TYÖVAIHEET PÄHKINÄNKUORESSA

Hankkeen työvaiheet ilmenevät pääpiirteittäin seuraavasta

1.4.2023 - 1.9.2023:

- Kirjallisuusselvitys ja toimintamallien kartoitus pohjoismaissa ja muualla Euroopassa ravinteiden talteenotosta
- Jäte kukon hule- ja suotovesien volyymien määrittäminen
- Hule-, suoto- ja kokoomavesinäytteiden analyysit Savonian laboratoriossa
- Koeasetelmien suunnittelu saatujen analyysitulosten ja kirjallisuusselvitysten pohjalta
- Weeefinerin 4D-siepparitekniologian kokeet hule-, suoto- ja kokoomavesinäytteille
- Benchmarking-kohteiden kartoitus (Suomi ja Saksa)

1.9.2023 - 31.12.2023:

- MBBR-laitteiston (Moving Bed Bioreactor) puhdistaminen ja käyttökuntoon saattaminen Jätekeskuksen alueella
- Sähkösaostusprosessin (EC) liittäminen MBBR-prosessiin ja ensimmäiset MBBR- ja EC-kokeet (EC-pilotointiajojen aloitus 30.11.2023)

1.1.2024 - 30.6.2024:

- EC-pilotointiajojen jatkaminen, mukana Biobros Oy
- Selvitykset EC-prosessissa syntyvän lietteen analysoimiseksi
- Bio- ja aktiivihiilisuodatuskokeet Savonian testihallissa
- MBBR-EC- ja suodatusmenetelmien loppuun saattaminen, tulosten analyysit ja käyttökelpoisuussuositukset
- EC-pilotointiajojen (15 kpl) loppuun saattaminen ja EC-prosessissa syntyvän lietteen jatkotoimitusmahdollisuuksien selvittäminen

1.7.2024 - 30.11.2024:

- 4.-30.10. Actiflo-pilotointi
- Jäteveden puhdistus- ja talteenotto-prosessien yhteenvedon ja suositusten laatiminen
- Analysoitujen menetelmien yksityiskohtainen analyysi (budjettihinta, suoritusteho, käyttökustannukset)
- Toimintamallin luominen ja investointisuunnitelma Jätekeskuksen alueelle. Afry Oy:n laite- ja investointisuunnitelman ensimmäisen vaiheen toteutus tasausaltaan suunnitteluun ja mitoittamiseen.

Tarkemmin hankkeen toimet hankkeen päätoteuttajien kesken on koottu seuraavaan taulukkoon.

Aikataulu	Savonia	Jäte kukko	Yhteenveto
25.5.2023-1.9.2023	Tutkimuskatsaus ja toimintamalliselvitys Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa olevista malleista. Suoto- ja huleveden volyymien määrittäminen Hule-, suoto- ja kokoomanäytteiden analyysit. Tulevien koeasetelmien suunnittelu saatujen analyysitulosten ja kirjallisuusselvitysten pohjalta. Asiantuntemuksen tuominen Weeefinerin metallisiepparikokeiden tulosten merkitykseen. Kirjallisuusselvitys Suomen ja ulkomaiden osalta ravinteiden talteenoton tilanteesta ja menetelmistä.	Ravinnepitoisten vesien hyödyntämisen perusmallin luominen. Kokeiden järjestelyt ja valmisteluvaiheet Jäte kukkon alueella. Aiempien tutkimus- ja mittaustulosten vertailu uusiin Savonian analyysituloksiin. Koeasetelmien suunnittelu saatujen analyysitulosten ja kirjallisuusselvitysten pohjalta. Vesinäytteiden toimittaminen Weeefinerille Jyväskylään. Benchmarking-kohteiden kartoitus.	Jäte kukkon hule-, suoto-, ja kokoomavesinäytteiden volyymien ja ominaisuuksien määrittäminen: - pH - sähkönjohtavuus - hiilen yhdisteet - fosforipitoisuus - typen muodot - kokonaismetallit - liukoiset metallit Koeasetelmien suunnittelu, ennakkovalmistelut ja muualla toteutettujen menetelmien alustava kartoitus. Weeefinerin metallisiepparikokeet hule-, suoto- ja kokoomanäytteiden vesille) Benchmarking-matka Etelä-Saksan Freiburgiin.
1.9.2023-31.12.2023	Olemassa olevan MBBR-laitteiston puhdistaminen ja käyttökuntoon saattaminen ja asiantuntemus prosessin ylös ajamiseen. Osallistuminen taustaselvityksiin sekä pohjatyöhön liittyen sähkösaostus (EC) - prosessin liittämistä MBBR-prosessiin. EC-pilotointiajojen aloitus 30.11.23	MBBR-laitteiston siirtämiseen ja käyttökuntoon saattamiseen osallistuminen: sijoituspaikka, sähköliitännät, vedenotto ja -purku sekä lietteen purku. Osallistuminen taustaselvityksiin sekä pohjatyöhön liittyen sähkösaostus (EC) - prosessin liittämistä MBBR-prosessiin.	Ensimmäiset MBBR- ja EC-kokeet (toteuttajien joukossa Biobros Oy) Tulosten analyysit, merkitys ja jatkotutkimusaiheiden vahvistaminen
1.1.2024-30.6.2024	EC-pilotointiajojen jatko, mukana myös EC-pilottilaitteiston toimittaja Biobros Oy. Selvitykset EC-prosessissa syntyvän lietteen analysoimiseksi.	MBBR-EC-koeajojen näytteiden otto 1-3 kertaa viikossa kolmesta näytestä kontin syötteenä toimiva tasausaltaan jätevesi, ensimmäisen nitrifikaatioreaktorin	EC-pilotointiajojen 15 kpl loppuun saattaminen: - Menetelmän toimivuuden testaus - Yhteistestaus MBBR+EC

	Ensimmäinen Bio- ja aktiivihiihisiuodatuskoe ympäristötekniikan testihallissa. MBBR-EC – ja suodatusmenetelmien tulosten analyysit ja käyttökelpoisuuden suositukset.	jälkeinen piste ja kontilta poistuva jätevesi. EC-prosessissa syntyvät lietteen kerääminen sisältäen pH:n säädön n. 6.0:ksi ja polymeerin SNF A905 lisääminen. Vesinäytteiden toimittaminen Savonialle suodatuskokeisiin (bio- ja aktiivihiihisiuodatus) MBBR-EC – ja suodatusmenetelmien tulosten analyysit ja käyttökelpoisuuden suositukset.	- MBBR+EC-koeajon jälkeinen denitrifikaatio Analysoitavat suureet (MBBR): pH, sähkönjohtavuus, orgaanisen hiilen määrä, COD, fosforipitoisuus, ammonium-, nitraatti-, nitriitti- ja kokonaistypen pitoisuudet, kokonais- ja liukoisten metallien pitoisuudet Analysoitavat suureet (EC): Samat kuin MBBR pois lukien nitriitti. Syntyneen EC-prosessin lietteen jatkotoimitusmahdollisuudet: mm. Gasumin biokaasuprosessi tai Kekkilän multa-asema.
1.7.2024-30.11.2024		Analysoitujen menetelmien yksityiskohtaisempi analyysi ml. budjettihinta sekä arviot suoritustehosta ja käyttökustannuksista.	Toimintamallin luominen ja alustava investointisuunnitelma Jäte kukkon alueelle. Laite- ja investointisuunnitelman ensimmäisen vaiheen toteutus tasausaltaan suunnitteluun ja mitoitus (toteuttajana: Afry). Selvitys valmistuu lopullisesti keuhällä 2025.

TOTEUTETUT TUTKIMUKSET JA KÄYTÄNNÖN PILOTOINNIT

Hankkeessa hyödynnettiin sekä laboratoriotutkimuksia että kokeellista vesitutkimusta ja mikrobiologisten ja kemiallisten vedenkäsittelyprosessien käytännön pilotointia kenttäolosuhteissa. Käytössä ovat olleet seuraavat testilaitteistot:

- Savonian pilot-mittakaavan MBBR-laitteisto sekä membraanisuodatuslaitteistot, jotka olivat valmiiksi asennettu merikonttien sisään
- Biobros Oy:n sähkösaostuslaitteiston toimiva prototyyppi
- Weeefiner Oy:n 4D-tekniikan laboratoriolaitteisto
- Savonian laboratorioonsa valmistamat aktiivi- ja biohihisiuodatus testilaitteet
- Veolia Aquaflow Finlandin toimittama Actiflo-pilottilaitteisto.

Hankkeessa lähestyttiin vaihe kerrallaan tutkimuskysymyksiä ja pyrittiin mahdollisimman kattavasti ja monipuolisesti huomioimaan erityyppiset lähtötilanteet sekä tuottamaan tietoa puhdistus- ja talteenottomenetelmien eduista ja mahdollisista heikkouksista.

Seuraavassa käydään yhteenvedonomaaisesti läpi keskeiset toimenpiteet. Myöhemmissä kappaleissa tuodaan esiin merkittävimmät tulokset, johtopäätökset ja jatkotutkimusideat. Kuvat 2 ja 3 havainnollistavat eri kohteiden sijaintia Jäte kukon alueella.



Kuva 2 Kuopion jätekeskuksen alue, jossa näkyy oikealla mm. jäteveden tasausallas, jonka luokse MBBR-laitteisto siirrettiin. Kuvan lähde: <https://vuosikertomus.jatekukko.fi/2018/sosiaalinen-vastuu/toimintaa-vuonna-2018.html>



Kuva 3 Ilmakuva Jäte kukkon tasausaltaasta ja pilotointikonteista. Nykyisin kenttä- ja suotovesistä koostuva tasausaltaan vesi pumpataan pumppauskaivon kautta Kuopion veden operoimalle kunnalliselle jäteveden puhdistamolle.

HULE- JA SUOTOVESIEN SISÄLLÖN JA VOLYYMIN ANALYYSIT

Tutkimusten pohjatyönä ja pilotointien suunnittelun avuksi selvitettiin tarkemmin Jäte kukkon ravinnepitoisten kenttä- ja suotovesien sisältö ja volyymi, joita verrattiin aiemmin toteutettuihin analyyseihin. Hule- ja suotovesiä sekä kokoomavettä, eli hule- ja suotoveden yhdistelmää analysoitiin Savonian ympäristötekniikan laboratoriossa ja selvitettiin näiden sisältämien aineiden pitoisuuksia ja pitoisuuksien vaihteluita. Lisäksi Jäte kukkon vesitaselaskelman avulla saatiin virtaamatietoa kenttävesistä.

Näytteistä analysoitiin pH, sähkönjohtavuus, hiilen yhdisteitä, fosforipitoisuus sekä ammonium-, nitraatti- ja kokonaistypenpitoisuudet. Lisäksi analysoitiin kokonais- ja liukoisten metallien pitoisuuksia. Tulokset vertautuivat hyvin Jäte kukkolta saatuihin pidemmän ajan tarkkailumittauksiin.

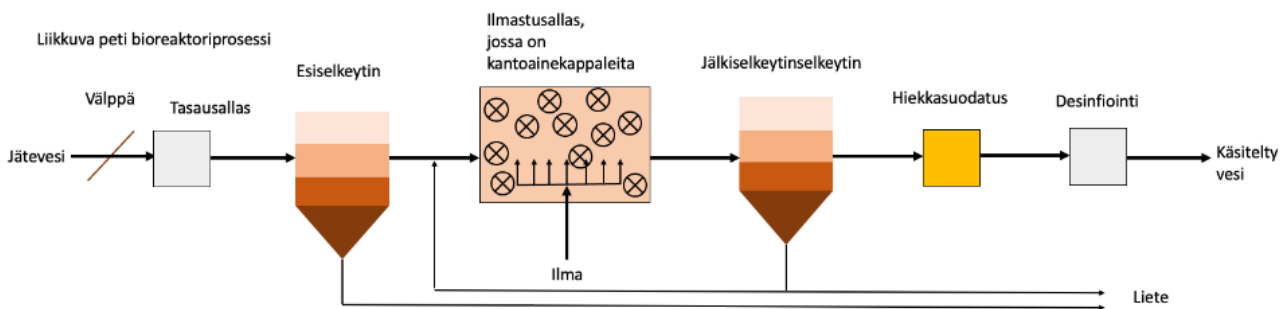
Hule- ja suotovesien volyymitiedot löytyvät Jäte kukkolta, ja näitä tullaan myös käyttämään ravinteiden talteenoton suunnittelussa hankkeen jälkeen².

MBBR-PROSESSI JA SÄHKÖKEMIAALLINEN SAOSTUS (BIOBROS OY:N EC)

MBBR-teknologiaa (Moving Bed Bioreactor) perustuu reaktoreissa vapaasti liikkuviin kantoainekappaleisiin, jotka tarjoavat typen poistoon osallistuville mikrobeille suojattua kasvupinta-alaa. Prosessin toimivuutta tutkittiin yhdessä sähkösaostuksen (EC) kanssa typen erottamiseksi vesistä lietemäiseen muotoon nitraattina, josta tavoitteiden mukaisesti se voisi olla edelleen hyödynnettävissä ravinteena. Verrattuna kalvobioreaktoreihin MBBR-reaktoreiden investointi- ja ylläpitokustannukset ovat yleensä pienemmät. Hankkeessa tutkittavana vetenä oli tasausaltaasta otettu hule- ja suotovesistä koostuva jätevesi.

² Suoto- hule- ja tasausaltaan vesitulokset 2002-2023 ja Kiertohanke_tulostaulukot

Alkuperäisessä muodossaan typpi on kaatopaikan suotovesissä tyypillisesti hyvin vesiliukoisessa ammonium-muodossa (NH_4^+). Jotta sähkökemiallisella saostuksella typpi saadaan toivotusti sidottua lietteeseen, pitää ammonium ensin muuntaa nitraatiksi (NO_3^-). Kokeen tarkoitus oli tutkia tämän tehokkuutta Savonian pilot-mittakaavan prosessilla, joka tuotiin kokeiden ajaksi Jäte kukkon alueelle. Mikrobit saavat nitrifikaation aikaan kantoainekappaleiden pinnoilla seuraavassa kuvattujen reaktioyhtälöiden (1) ja (2) mukaisesti.



Kuva 4 MBBR- eli liikkuva peti bioreaktorin ytimenä on mm. ilmastusallas, jossa kantoainekappaleet sijaitsevat (Kuvan lähde: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202204201606.pdf>).

Mikrobien toiminnan käynnistyttyä onnistuttiin saamaan nitraatin pitoisuus riittäväksi, jolloin vesi johdettiin MBBR-prosessista Biobros Oy:n sähkösaostuslaitteistoon (EC). Tässä etsittiin vastaukset seuraaviin:

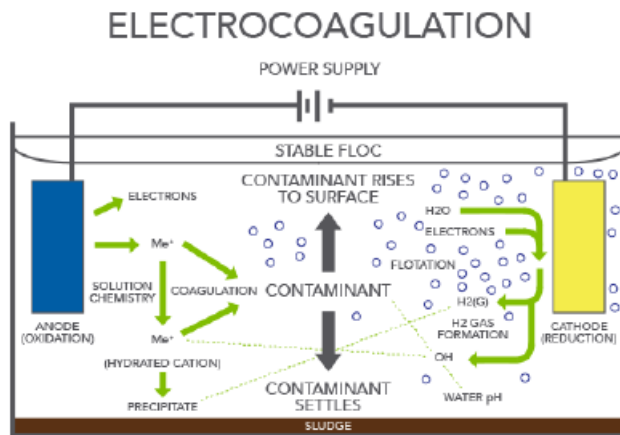
- Saadaanko jäteveden sisältämä nitraattityppi ja fosfori saostettua lietteeseen niin, että sitä voidaan jatko hyödyntää ravinne käytössä?
- Saadaanko jätevedestä poistettua metalleja (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Ni ja Cr)?
- Saadaanko jätevedet samalla puhdistettua ympäristöluvan vaatimusten mukaisesti niin, että ne voidaan käyttää alueella tai laskea ympäröiviin ojiin?

Huomioitavaa oli, että sähkösaostusprosessia varten vettä piti olla riittävä volyymi.

MBBR-koeajon päätavoitteena oli todentaa, että nitrifikaatioprosessi toimi luotettavasti vaihtelevilla jäteveden pitoisuuskuormilla sekä mahdollisuuksien mukaan myös matalissa jäteveden lämpötiloissa. Paitsi talteenoton näkökulmasta, MBBR-prosessia testattiin myös sen puhdistustehon kannalta, vaikka typpi poistuukin siinä typpikaasuna eikä sitä saada talteen. Tämän kokeileminen ei aiheuttanut juurikaan lisäkuluja, koska tarvittava ylösajettu prosessilaitteisto oli jo valmiina käyttökunnossa.

MBBR-laitteiston perään kytketyn elektrokoagulaatio- eli sähkösaostuslaitteiston (EC) toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5: perustana ovat anodilla ja katodilla tapahtuvat hapetus-pelkistysreaktiot sekä haitta-aineiden nouseminen flokkeina joko pintaan tai laskeutuminen pohjaan, jolloin tavoite on kyetä ottamaan ne talteen. Flokkien syntymiseen vaikuttaa anodilta liukeneva ja hydrolysoituva metalli (esim. alumiini tai rauta) ja niiden kerääntymistä tehostaa mikroskooppisia vetykaasukuplia (H_2) veden hajotessa tuottava katodireaktio. Katodilla lisäksi syntyvät hydroksidi-ionit säätelevät veden pH-arvoa tyypillisesti kohti neutraalia.

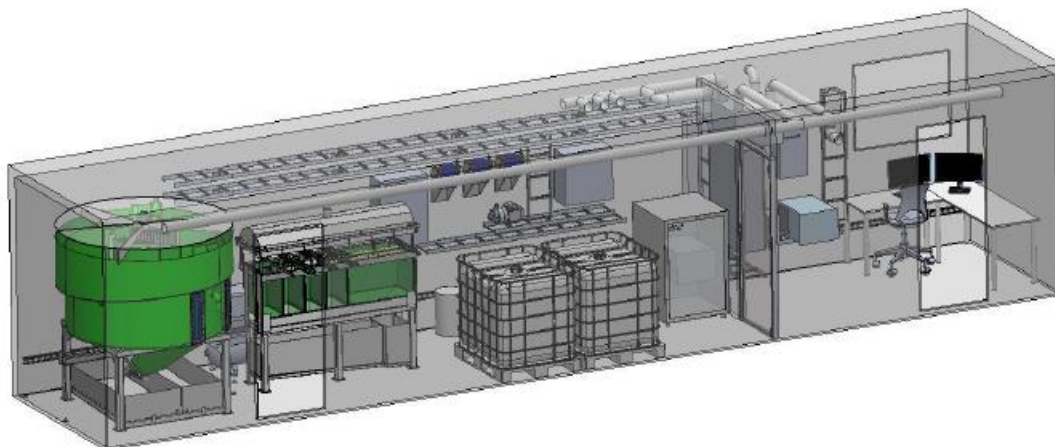
Tuotetun tiedon ja puhdistustulosten myötä kyettiin arvioimaan järjestelmän soveltuvuutta, kannattavuutta ja hyötyä tasausaltaan jäteveden käsittelyssä.



Kuva 5 Elektrokoagulaation (EC) periaate.

Elektrokoagulaatio pilotointiajot (15 kpl) ajoittuivat talvikauteen 2023-2024. EC-prosessin säädettävänä ajoparametreina olivat veden virtaama (0,5 ja 1,0 m³/h), tarvittu sähköteho (kWh/m³), pH, veden konduktanssi, käytettyjen elektrodien materiaali sekä saostuksen tehostava polymeeri. Saostuspolymeerien käyttöä testattiin sekä lietteen tiivistämiseen että käsittelyyn liittyen. Lisäksi kokeiltiin puhdistetun veden kierrättämistä takaisin sähkösaostusprosessiin.

Biobros Oy:n EC-pilottilaitteisto oli asennettu 12 metrin merikonttiin seuraavan kuvan mukaisesti.



Kuva 6 Biobros Oy:n EC-pilottilaitteisto merikontin sisässä. Kontti on jaettu prosessipuoleen (vasemmalla) ja valvomoon (oikealla).

MBBR-EC -koeajon jälkeen nitrifikaatioon yhdistettiin denitrifikaatio, jolla pyrittiin osoittamaan koko MBBR-prosessin toimivuus tasausaltaan jätevedellä Jäte kukon tulevaisuudessa mahdollisesti käyttöönotettavia ravinteiden talteenotto- ja puhdistusratkaisuja varten.

MBBR-prosessista analysoitiin koeajon aikana seuraavia: pH, sähkönjohtavuus, orgaanisen hiilen määrä, COD, fosforipitoisuus sekä ammonium-, nitraatti-, nitriitti- ja kokonaistypenpitoisuudet. Lisäksi analysoitiin kokonais- ja liukoisten metallien pitoisuuksia. Näytteitä otettiin kontin syötteenä toimivasta tasausaltaan jätevedestä, ensimmäisen nitrifikaatioreaktorin jälkeen ja toisen nitrifikaatioreaktorin jälkeisestä kontilta poistuvasta

jätevedestä. EC-prosessista analysoitiin pääsääntöisesti kaikki samat parametrit kuin MBBR-prosessista pois lukien nitriitti. Lisäksi analysoitiin kokonaismetallit (Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Cr ja Ni).

Lisäksi selvitettiin EC-prosessissa syntyvän lietteen analyysitapoja. Liete kerättiin altaan pinnalle syntyvästä pintalietteestä. Prosessin yksityiskohdat ja lisätyt polymeerit ilmenevät erillisestä raportista³.

IONINVAIHTO (WEEFINERIN METALLISIEPPARITUTKIMUS)

Ioninvaihtotekniikka on tunnistettu käyttökelpoiseksi menetelmäksi jäteveden puhdistuksessa erityisesti raskasmetallien ja nitraatin poistossa. Menetelmässä käytetään ioninvaihtohartsia, jotka sitovat epätoivottuja ioneja ja korvaavat ne toisilla. Menetelmä on käytössä muiden puhdistusmenetelmien, kuten biologisen ja kemiallisen puhdistuksen, kanssa mahdollisimman hyvän lopputuloksen saamiseksi. Ionit voidaan ottaa talteen hartsista eluomalla sopivalla liuottimella, joko jatkuvana tai eräprosessina. Esimerkiksi [koboltin poistoa](#) [ioninvaihdolla](#) on tutkittu teollisuuden jätevesistä, jolloin prosessin tehokkuuteen on havaittu vaikuttavan mm. liuoksen pH ja epäpuhtauksien määrä, kontaktiaika ioninvaihtohartsin kanssa sekä ioninvaihtajan määrä, joista taloudellisesti on optimoitava sopivat.

Käsillä olevaan hankkeeseen valittiin palveluntarjoajaksi jyvaskyläläinen Weeefiner Oy, joka tutki kolmea Jäte kukkon näytettä: suotovesi, hulevesi ja kokoomanäyte lähtevästä jätevedestä. Weeefinerin menetelmän perustuu heidän itsensä kehittämänsä ioninvaihtoteknologiaan, jossa aktiiviset ioninvaihtoryhmät on printattu huokoiseen tukiainekseen.

BIO- JA AKTIIVIHIIILISUODATUSKOE

Keväällä 2024 toteutettiin Jäte kukkon ja Savonian yhteistyössä suunnittelema bio- ja aktiivihiihisiuodatuskoe. Varsinaisen koeajon toteutuksesta ja raportoinnista vastasi Savonia, jonka raportista ilmenevät tarkemmat yksityiskohdat⁴. Kokeiden tavoitteina oli löytää ja vertailla bio- ja aktiivihiihien eroja ravinteiden ja haitallisten aineiden sidontakyvyssä. Lisäksi selvitettiin eri hiilten potentiaaleja fosforin sekä joidenkin metallien sidontakyvyssä sekä pohdittiin mahdollista hiilien jatkohyödyntämisketjua.

Koeajot toteutettiin Savonian ympäristötekniikan testihallissa laboratoriomittakaavan kolonnilaitteistolla Jäte kukkon kokoomakaivosta pumpatulle jätevedelle. Vesinäytteistä analysoitiin pH:n lisäksi mm. seuraavia: ammonium-, nitraatti- ja nitriittityppi, kokonaisfosfori, COD, orgaaninen kokonaishiili (TOC), kokonais- ja liukoiset metallit, liukoinen happi ja sähkönjohtavuus. Sisätilassa toteutetusta tutkimuksesta johtuen jäteveden lämpötila oli läpi koeajon noin 20 °C.

Suurempi pinta-alainen aktiivihiihi osoittautui paremmaksi sekä TOC- että COD-tulosten yhteydessä. TOC:n osalta luparaja (< 60 mg/l) alittui aktiivihiihikolonnilla kaikilla mittauskerroilla ja muilla kolonneilla muilla paitsi yhdellä mittauskerralla. COD:n osalta raja-arvo alittui kaikilla kolonneilla kaikilla mittauskerroilla.

Metallien osalta luotettavia tuloksia saatiin kuparin, sinkin ja raudan osalta, sillä muiden (kadmium, lyijy, kromi, nikkeli) pitoisuudet olivat valmiiksi häviävän pieniä.

³ 2024-Biobros-EC_pilotit_Kierto-hanke_Loppuraportti Jäte kukko_29.2.2024

⁴ Bio- ja aktiivihiihisiuodatus koeajo, Kierto-hanke TP6 koe 2

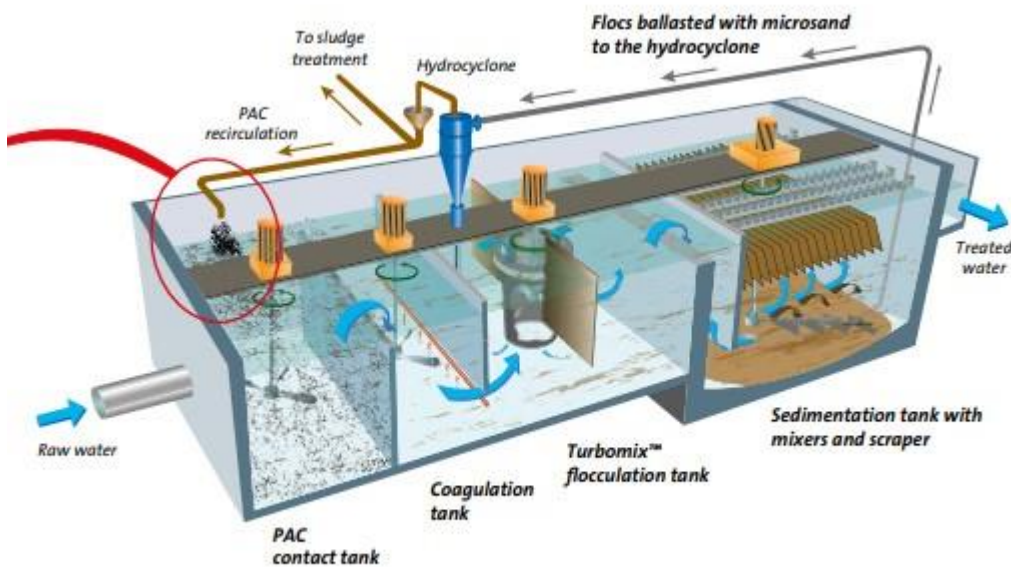
ACTIFLO-PILOTOINTI

Actiflo-prosessi on laskeutusmenetelmä, jossa käsiteltävään jätevesiteen lisätään mikrohiekkaa flokkien muodostumisen tehostamiseksi. Hiekka tekee flokin raskaaksi, ja flokit voidaan erottaa tehokkaasti lamelliselkeyttimessä. Hiekka erotetaan muusta lietteestä hydrosyklonilla ja palautetaan prosessin alkuun.

Kokeiden tarkoituksena oli tutkia prosessin soveltuvuutta laimeille jätevesille ja mitata sen tehokkuutta kiintoaineen ja flokkautuvan orgaanisen aineen poistossa. Koeajoihin käytettiin Jäte kukkon jätekeskuksen kenttävesikaivon vesiä, jotka koostuvat pääasiassa asfaltoidulta kentiltä valuvasta sadevedestä. Hulevesien lisäksi kenttävesien kaivon tulee Fortumin öljyisten ja liuotinpitoisten vesien käsittelyprosessin jätevedet, sekä kompostialueelta rasvan- ja hiekanerotuskaivolietteen suodosvedet. Kompostialtaan rasvanerotusaltaaseen otetaan vastaan myös vetiset lannat.

Jätekeskusalueella hulevettä eniten likaavia toimintoja ovat kompostointi, Gasumin mädätteen kalkkistabilointi, sekajätteen varastointi ja kyllästetyn puun käsittely. Hulevesi myös roskaantuu eri lähteistä tulevan muovin sekä puuhakkeen, kuoren ja purun vuoksi.

Kuvassa 7 on esitetty kaaviokuva Actiflo Mini Carb -prosessista.



Kuva 7 Actiflo-pilottiyksikkö

Pilottilaitteisto oli varustettu myös aktiivihiiliyksiköllä, mutta se ohitettiin koeajoissa, koska aktiivihiiltä ei käytetty. pH pyrittiin pitämään vakiona välillä 6-6,2. Koagulointikemikaalit ja pH:n säätö on kuvattu tarkemmin erillisessä raportissa, samoin mikrohiekan lisäys.

Koagulointitankista vesi johdettiin flokkaustankin kautta lamelliselkeyttimeen, jossa hiekkaa sisältävä liete laskeutui pohjalle. Liete pumpattiin tämän jälkeen hydrosykloniin, jonka ylitteestä poistui varsinainen lieteflokki.

letkua pitkin viemäriin ja alitteesta putosi erotettu mikrohiekka takaisin prosessiin kiertäväksi, sen toiseen koagulointitankkiin. Lietevirtaamana pyrittiin pitämään arvossa 1,3-1,4 m³/h.

Pilottilaitos oli ollut 3-4 vuotta käyttämättömänä, joten käyttööotto vaati hieman aikaa. Samalla huomattiin lukuisia suunnitteluvirheitä, jotka mm. hidastivat koeajoja ja vaikeuttivat riittävän jätevesivirtaamaan saavuttamista. Näitä on kuvattu tarkemmin erillisessä raportissa.

BENCHMARKING-KOhteet Suomessa

Vierailuista Veolia-Aquaflow, NPHarvest ja HSY-Viikinmäki löytyy tarkemmat kuvaukset Jäte kukolta. Tässä kappaleessa käydään tiiviisti läpi sovellusmahdollisuudet jätekeskuksiin.

VEOLIA-AQUAFLOW

Veolia on maailman ylivoimaisesti suurin vesilaitos ja vesienkäsittelytoimittaja maailmassa. Käytiin läpi Veolian vesien käsittelytuotteet, joista jätekeskuksen tarpeisiin keskityttiin erityisesti hulevesien ja muiden laimeiden vesien kemialliseen käsittelyyn soveltuvaan Actiflo-hiekkaselkeytysprosessiin. Actiflo-prosessissa lisätään flokkausvaiheessa kemikaalien lisäksi jäteveteen hienoa hiekkaa, joksi sopii mm. normaali hiekkapuhallushiekka. Hiekka sitoutuu kiintoaineflokkeihin saaden ne laskeutumaan erittäin nopeasti pohjalle seuraavassa lamelliselkeytysprosessissa. Lie te pumpataan pohjalta hydrosyklonin läpi, joka erottelee hiekan muusta kiintoaineesta. Hiekka palautuu prosessiin ja lie te poistuu.

Actiflo -prosessin etuna on sen soveltuvuus erittäin korkeisiin pintakuormiin (esim. 100 m/h), jolloin pienellä selkeyttimellä voidaan käsitellä suuri määrä vettä. Actiflostä löytyy myös standardipakettiratkaisu, Actiflo Mini, jolloin prosessi voidaan sijoittaa esim. merikonttiin.

Haittapuolena Actiflossa on suhteellisen laimea lie te, sillä lietettä syntyy hulevesisovelluksissa n. 10 % jäteveden määrästä. Mikäli jätevesi sisältää roskia yms. suurikokoista kiintoainesta, prosessi vaatii eteensä jonkinmoisen välppäyksen. Veolialta saa suosituksia välppien toteutukseen.

Actiflostä on olemassa myös Actiflo Acticarb sovellutus, jolloin prosessin etupäähän on lisätty aktiivihiilireaktori haitta-aineiden poistoa varten. Tämä laitteisto soveltuu kuitenkin vain puhtaahkoille vesille, joista muodostuu suhteellisen vähän lietettä, sillä prosessi ei sisällä lietteen erotusta aktiivihiilestä. Riippuen sovelluskohteesta ja siitä, tarvitaanko siinä muuten aktiivihiiltä, on suositeltavaa erikseen näissä tapauksissa miettiä prosessien kannattava järjestys.

NP HARVEST

NPHarvest on kehittänyt prosessin ammoniumtypen erottamiseksi jätevedestä. Prosessi perustuu emäksisyyden nostoon yli pH-arvoon 10, jolloin ammonium muodostaa ammoniakkikaasua. Ammoniakki erotetaan sen jälkeen selektiivisellä kalvolla ja pestään rikkipapolla ammoniumsulfaatti -liuokseksi.

Prosessi on tätä kirjoitettaessa loppusyksyllä 2024 vielä kehitys- ja tuotteistusvaiheessa, jolloin uusi pilottilaitteisto oli rakenteilla.

Prosessin etuina on kompaktius ja typen talteenotto puhtaana kemiallisena liuoksena. Haittapuolina on jäteveden pH:n nousu, jolloin jätevesi täytyy neutraloida jälke npäin. Prosessi soveltuukin lähinnä paljon ammoniumia sisältäville osajakeille typen talteenottomenetelmäksi. Lisäksi haittana on talteen otetun

ammoniumsulfaattiliuoksen happamuus, koska prosessin luonteesta johtuen se sisältää ylimäärin sulfaattia (rikkihappoa). Suomen happamille maille levitettynä se täytyisi neutraloida.

HSY VIIKINMÄKI

Viiknämässä sijaitsee pohjoismaiden suurin kunnallinen jätevedenpuhdistamo ja tutustuttavaksi pilottilaitteistoja. Piloteilla on testattu typen, fosforin ja hiilen kierrätystä, joista esimerkkinä [Veolia Water Technologiesin ANITA™ Mox -prosessi](#).

Fosforin kierrätystä on testattu kemiallisesta lietteestä fosforihapolla hajottamalla, jolloin erotuksessa saadaan fosfori- ja koagulaatiokemikaalipitoinen jae. Ylijäämänä tuotetaan fosforihappoa, ja koagulaatiokemikaali voidaan käyttää kemiallisessa vedenpuhdistuksessa uudelleen. Ongelmaksi on havaittu mm. saostuvien hiiliyhdisteiden kertyminen tuotteisiin ja jääminen kiertoon. Kyseessä on ns. [Ravita-prosessi](#), jossa on mahdollista ottaa talteen myös typpi biologisen lietteen kuivauksessa syntyneestä erotusvettä, jonka ammoniumtyppipitoisuus on korkea. Typpi otetaan talteen strippausprosessilla, jossa käytetään talteen otettua fosforihappoa. Tuotteena syntyy lannoitteeksi soveltuvaa ammoniumfosfaattia.

Hiilen kiertoa on tutkittu eri lietejakeiden pyrolyysikäsittelyllä, jolloin saadaan tuotettua biohiiltä. Biohiiltä on myös aktivoitu. Biohiilen huokoisuus ei ole ollut esim. turpeesta tehtyjen hiilten tasolla, mutta aktivointi on lisännyt aktiivista pinta-alaa. Tuotetta voi käyttää maanparannustarkoituksissa tai vaihtoehtoisesti biolannoitteiden valmistuksessa. Biohiilen on todettu lisäävän myös mädättämön kuormituksensietoa.

LAITE- JA INVESTOINTISUUNNITELMA JÄTEKUKON JÄTEKESKUKSEEN

Hankkeen yhteydessä palveluntarjoaja Afry Oy toteutti seuraavat tutkimukset, tarkastelut ja suunnitelmat:

- täydentävät pohjatutkimukset (kairaukset) ja kartoitukset
- pohjaveden antoisuuspumppaukset koekuopista
- rakeisuus- ja vedenläpäisyystutkimukset
- vesitaselaskelmat ja virtaamatarkastelut
- paineellisen pohjaveden vaikutus altaan rakentamiseen, alustava pohjaveden alennus-, pumppausvirtaama- ja vaikutustarkastelu
- stabiiliteettilaskelmat (5A kenttä, jätetäyttö)
- altaiden (laimea ja väkevä) mitoituslaskelmat
- alustavat altaan rakennevaihtoehdot
- betonisen altaan rakentamiskustannukset
- vesienjohtamisen muutostarkastelu, väkevien ja laimeiden vesien eriyttäminen ja johtaminen omiin altaiisiinsa
- alustava allasuunnitelma ja vesienjohtamisen korkotarkastelu
- alustava käsittelymenetelmien pohdiskelu
- uuden kentän vesienjohtamissuunnittelu
- sedimenttinäytteenoton suunnittelu ja valmistelu

Varsinainen suunnittelu ja sitä myötä kustannusarvio valmistuu aikaisintaan tammikuussa 2025, minkä jälkeen Afryn tutkimuksista on saatavilla tarkemmat raportit.

HANKKEEN TULOKSET

Hankkeessa saatiin ymmärrystä ja ratkaisuja tutkittujen prosessien tehokkuudesta ja toimivuudesta jätevesien puhdistuksessa ja ravinteiden talteenotossa. Menetelmien rajoitteet, hyödyt ja operoinnin edellyttämät resurssit ja osaaminen on käsitelty seuraavassa. Huomionarvoista on, että Jäte kukkon vedet ovat ison osan vuodesta, 7-8 kk, erittäin kylmiä, alle 5 asteisia. Tämä asettaa rajoitteita erityisesti biologisten puhdistusmenetelmien kustannustehokkaaseen hyödynnettävyyteen.

Hankkeessa toteutetun kirjallisuusselvityksen mukaan ravinteiden talteenotto on globaalisti edelleen harvinaista – enemmänkin on käytössä vain jätevesien haitallisten aineiden poistamista esimerkiksi MBBR-teknologialla tai saostamalla. Näillä kyllä saadaan vesiä puhdistettua, mutta ravinteet muuttuvat käsittelyissä sellaisiin muotoihin, että ne joko menevät taivaalle kaasuna (typpi) tai saostetaan (fosfori), eivätkä ne ole enää jatko hyödynnettävissä. Puhdistettujen vesien kierrätystä tehdään jonkin verran, esimerkiksi Saksassa on jätekeskus, jossa puhdistettua suotovettä käytetään jäteautojen ja suotovesiputkien pesuun.

Varsinaisiksi Benchmarking-kohteiksi valikoitui kolme kohdetta Suomessa sekä Etelä-Saksan Freiburg, jonka lähimaastossa perehdyttiin kahteen referenssikaatopaikkakohteeseen ja niiden suotovesien käsittelyratkaisuihin.

Seuraavassa on yhteenvetona tähän mennessä toteutetuista kokeista ja saadusta kokemuksesta eri menetelmien eduista ja heikkouksista.

BIOLOGISET MENETELMÄT

Biologisiin menetelmiin lukeutuvat mm. aktiivilietelaitos, lammikkopuhdistamot ja kantoainekappaleprosessit (mm. Veolian Anitamox) sekä osittain tässäkin hankkeessa kokeiltu MBBR + EC -menetelmäkaskadi. Näissä on hienoisia eroja nitrifikaation ja denitrifikaation toteutumisessa, hiilen lähteen tarpeessa, prosessin ohjausvaatimuksissa sekä käsiteltäviltä vesiltä vaadittavissa ominaisuuksissa. MBBR+EC -kaskadi on erotettu tässä raportissa omaksi kappaleekseen. Tarkemmin biologisten menetelmien hyötyjä ja haittoja löytyy jäte kukkolta saatavista raporteista⁵.

Biologisten menetelmien käyttöä rajoittaa jäteveden kylmyys, sillä yli puolet vuodesta kokonaisjäteveden lämpötila on alle 5 °C, jolloin biologinen toiminta alkaa olla jo todella hidasta. Kuitenkin biologiset menetelmät ovat parhaita käsittelymenetelmiä moneen tarkoitukseen, kuten esimerkiksi pienimolekulaarisen, helposti hajoavan orgaanisen aineksen poistoon.

Koska reaktiot ovat hitaita ja Jäte kukkon jätevedet lisäksi laimeita, tarvitsee biologinen käsittely suuren tilavuuden. Näin ollen hankkeessa syntyi jätevesiasiantuntija Jari Heikkiselle idea käyttää tasausaltaan tilavuus myös biologisena puhdistamona. Ilmastettu tai fakultatiivinen lammikko on nimittäin suhteellisen hyvä puhdistusmenetelmä tällaisille jätevesille. Myös kosteikkokäsittelyt voivat toimia Jäte kukkon tapauksessa riittävän hyvin, kun huolehditaan jäteveden esikäsittelystä, etteivät kosteikot tukkeennu esimerkiksi muovin öljyn tai rasvan takia. Jäte kukkon alueella ei ole soveltuvaa aluetta kosteikkokäsittelyksi, mutta tasausallas voidaan varustaa ilmastuksella ja hyödyntää sen potentiaali biohajoavan orgaanisen materiaalin (BOD) poistossa.

Kaikki biologiset prosessit tuottavat lietettä, joka on erotettava jätevedestä jollain tavalla. Mikäli biologista prosessia täydennetään sen jälkeisellä kemiallisella käsittelyllä, lammikon ja kantoainekappaleprosessin liete

⁵ Puhdistusprosesseja

voidaan erottaa siinä samalla. Kemiallinen saostus biologisen prosessin jälkeen täydentää hyvin puhdistustulosta ja poistaa biohajoamatonta materiaalia, fosforia ja alentaa jäteveden väriä. Kemiallinen saostus tuottaa kuitenkin runsaasti lietettä, jolle on tarpeellista kehittää hyödyntämis- tai hävityskkeinoja. Kemiallinen saostus vaatii myös toimiakseen optimaalisesti tietyn pH:n, mikä usein edellyttää pH:n säätökemikaalia. Tällöin jätevettä voi tarvita vielä jälkineutraloida kemiallisen käsittelyn jälkeen.

MBBR+EC -MENETELMÄ (JA LIETTEEN EROTUS)

MBBR + EC -menetelmäkaskadilla saatiin kokeissa saostettua jäteveden sisältämää orgaanista ainesta, metalleja ja fosforia, mutta nitraatin suhteen menetelmä osoittautui melko vaatimattomaksi. Parhaimmillaan saostuneiden metallien reduktiot olivat yli 97 % ja fosforin reduktiot pääsääntöisesti yli 98 %. Nitraattityypin reduktio oli puolestaan vain noin 19 %. Yksityiskohtaiset tulokset löytyvät Jäte kukkolta saatavissa olevista raporteista⁶.

MBBR-menetelmän nitrifioinnin teho laskee lämpötilan myötä (vrt. biologiset prosessit), mutta positiivista on se, että sähkösaostus käyttää metallista rautaa tai alumiinia metallisuolojen sijaan, joten se ei lisää jäteveden sulfaatti- tai kloridipitoisuutta.

EC-menetelmässä huomioitavaa ovat sen käyttökustannukset, joista tarvittavan sähköenergian määrä muodostaa jopa noin 85 %. Hankkeen testiajoissa käytetyn energian määrä vaihteli 1,75 – 6,4 kWh/m³ välillä, keskimääräisen energiankulutuksen ollessa 2,9 kWh/m³. Nykyisillä tasausaltaan virtaamilla vuosittainen sähkönkulutus olisi n. 220-330 MWh. Jos sähkön hinnaksi arvioi keskimäärin 8 snt/kWh, sähkön kustannukset vuodessa olisivat 17 600 € – 26 400 €, ja kokonaisuudessaan operatiiviset kustannukset noin 20 000 € – 30 000 € vuosittain. Tämä sisältää myös kustannukset alumiinielektrodeista: tuotannollisen mittakaavan EC-laitteiston elektrodit kuluvat niin, että uhrattavat alumiinielektrodit olisi vaihdettava keskimäärin kerran vuodessa.

Jäte kukkon tasausaltaan jätevedenkäsittelyyn mitoitettu elektrokoagulaatioprosessin käsittelykapasiteetti olisi 15 – 20 m³/h. Tällä käsittelykapasiteetilla katettaisiin suurin osa tasausaltaan vuosittaisesta virtaamasta. Tasausaltaan pinnan säädöllä voidaan tasata suurimpien tilavuusvirtaamien jaksoja. Laitteisto mahtuu 12 metrin merikonttiin eikä se vaadi erillistä operaattoria. Laitteiston operointi, huolto ja elektrodien vaihto onnistuu tavanomaiselta laitos- tai huolto-operaattorilta. Biobros kykenee laitteiston mitoitukseen, suunnitteluun ja toimittamiseen ns. ”avaimet käteen” periaatteella.

Kaiken kaikkiaan MBBR-tekniikan etuina voidaan pitää pienehköä prosessitilavuuden tarvetta, mahdollisuutta jälkiasennukseen olemassa oleviin laitokseen, pienempää liete- ja kiintoainepitoisuutta (ainakin verrattuna aktiivilieteprosessiin) sekä lähtökohtaisesti tehokkaampaa typenpoistoa.

EC-pilotin yhteydessä toteutettu lietetutkimus toi ymmärrystä lietteen jatkokäsittely- ja hyödyntämismahdollisuuksiin. Jäte kukkon tasausaltaan jätevedessä on keskimäärin kiintoainetta noin 40 mg / l. Viime vuosien aikana kiintoainetta on ollut noin 3 000 – 4 500 kg/vuosi. Sähkökemiallisella saostuksella kiintoaineesta saadaan saostumaan lietteeksi yli 95%. Lietetestien perusteella lietteen määrä vuositasona voisi olla 19 000 – 38 500 (ka 10 - 15%) m³ / vuosi.

⁶ MBBR-koeajo, Kierto-hanke TP5 koe 1.doc sekä 2024-Biobros-EC_pilotit_Kierto-hanke_Loppuraportti_Jäte kukko_29.2.2024

Syntynyt liete voidaan linkouksen jälkeen toimittaa jatkokäsitteltäväksi Gasumin biokaasuprosessiin tai Kekkilän multa-asemalle.

KEMIALLISET MENETELMÄT (KOAGULAATIO, FLOKKAUS, SUODATUS)

Kemiallinen puhdistus ei ole vastaavalla tavalla lämpötilariippuvainen kuin biologiset käsittelyt. Näin ollen nämä soveltuvat suhteellisen hyvin jätekeskuksen vesien käsittelyyn. Kemiallinen puhdistus voi olla myös esi- tai jälkikäsittelynä muille puhdistustavoille. Kemiallisella puhdistuksella saadaan puhdistettua jätevedestä kiintoainetta, biohajoamatonta COD:ta (jota tulee esim. kasavesistä ja kompostoinnista), fosforia, raskasmetalleja, väriä, FOG- ja AOX-yhdisteitä. Tarkempia tietoja löytyy Jäte kukolta saatavissa olevasta raportista⁷.

Kemiallinen puhdistus kuluttaa suhteellisen vähän energiaa ja on helppoa operoida ja nopea käynnistää ja lopettaa. Haittapuolina on kemikaalien kulutus ja syntyvä liete. On epävarmaa, soveltuuko liete esim. peltolannoitteeksi sellaisenaan tai kompostoinnin tai mädättämön jälkeenkään. Myös jäteveden suojojen pitoisuus yleensä nousee kemiallisessa käsittelyssä koska alumiinin/raudan vastaionina on yleensä sulfaatti tai kloridi.

Perinteinen kemiallinen käsittely on erittäin tehokas fosforin poistossa, mutta ei poista juurikaan typpiyhdisteitä, ammoniumia ja nitraattia (pl. kiintoaineseen ja biomassaan sitoutunut orgaaninen typpi).

Suodatus on kilpailukykyinen prosessi yleensä vain, kun veden kiintoainepitoisuus on alle 100 mg/l. Suodatusprosesseista saatava liete on myös yleensä varsin laimeaa. Suodatusprosessia voidaan tehostaa lisäämällä suodatusmateriaaliin jokin aktiivinen komponentti, kuten aktiivihiili, biohiili tai zeoliitti. Tällöin suodatuksella saadaan poistettua myös liuenneita aineita niiden tarttuessa suodatusmateriaaliin. Tällaisissa prosesseissa suodatusmateriaali on joko vaihdettava tai regeneroitava aika ajoin.

ACTIFLO-HIEKKALASKEUTUSPROSESSI

Actiflo-prosessi on toimiessaan tehokas kiintoaineen ja flokkautuvan orgaanisen aineksen poistossa. Fosforin talteenottoon menetelmän reduktio on hyvä, fosfaattifosfori poistuu noin 80-90 prosenttisesti. Pienikokoisena, konttiin mahtuvana Actiflo soveltuisi hyvin jätekeskuksen hulevesien käsittelyyn. Kemiallisena käsittelynä se soveltuu hyvin myös kylmille hulevesille, koska puhdistuksen tehokkuus on lähes riippumaton lämpötilasta. Käsittely poistaa tehokkaasti fosforin lisäksi kiintoainetta ja väriä. Tarkemmin menetelmää on kuvattu Jäte kukolta saatavissa olevassa raportissa⁸.

Pilottilaitteiston suunnitteluvirheet ja kuiva syksy siihen liittyvine jäteveden laadun vaihteluineen aiheuttivat omat hankaluutensa, eikä pilotilla ollut mahdollista suorittaa pidempiaikaista keskeytyksetöntä ajoa. Ongelmia aiheuttivat hydrosykloniyksikön pieni koko, tukkeutumisot, kelluvat ainekset, kuten styrox-palloset sekä rasvan tai öljyn aiheuttama vaahto. Pilotoidun standardikokoisen Actiflo Mini -laitoksen kapasiteetti on pienehkö tosielämän käyttöä ajatellen, mutta suurempi kapasiteetti antaisi mahdollisuuden jaksottaiseen ajoon ja tulvahuippujen varalle.

⁷ Puhdistusprosesseja.doc ja Jäteveden käsittelymenetelmät -loppukaneetti

⁸ Actiflo pilotointi

Vaikka Actiflo-prosessilla on useita etuja, kuten tehokas fosforin, kiintoaineen ja orgaanisen aineksen poisto, kompakti koko ja kemiallisen käsittelyn soveltuvuus kylmille hulevesille, pilotoinnissa havaittiin myös merkittävä haittapuoli: prosessin tuottama liete on laimeaa, mikä vaikeuttaa lietteen hyötykäyttöä. Laimeaa lietettä on kalliimpaa ja vaikeampaa hyödyntää esimerkiksi lannoitteena. Ennen varsinaista lietteenkäsittelyä voi olla tarpeen siis käyttää erillistä tiivistintä, mikä lisää kustannuksia ja tilantarvetta. Jos haittapuolet pystytään minimoimaan esimerkiksi tehokkaalla lietteen tiivistyksellä, Actiflo-prosessi voi silti olla tehokas ja toimiva ratkaisu jätevesien käsittelyyn.

KALVO- JA SUODATUSMENETELMÄT

MBR eli kalvobioreaktori yhdistää kalvotekniikan ja biologisen käsittelyn hyvät puolet. Biomassa ei pääse karkaamaan reaktorista kalvojen läpi kuten perinteisissä biologisissa prosesseissa voi häiriötilanteissa tapahtua. Kalvo pidättää lietteeseen myös kolloidit ja makromolekyylit, jolloin saadaan kemiallisen puhdistuksen edut. Lisää tietoa kalvomenetelmistä löytyy Jäte kukolta saatavilla olevasta raportista⁹.

Haittapuolina MBR:ssä on suuri sähköenergian kulutus. Prosessi myös vaatii, että kylmää jätevettä lämmitetään biologisen toiminnan takaamiseksi. Myös kalvojen vuo (eli läpimenevä vesivirtaus/m²) laskee lämpötilan laskiessa ja veden viskositeetin noustessa. Pienelle vesimäärällä MBR-laitoksen investointihinta nousee korkeaksi, koska se on suhteellisen monimutkainen laitos ja vaatii suuret biologiset reaktorit, jotka on Suomen oloissa eristettävä.

Kalvosuodatus (nanosuodatus/käänteisosmoosi) puolestaan soveltuu sellaisenaan ainoastaan jäteveden konsentrointiin. Jätevedestä erotetulle retentaatille täytyy tällöin löytää käyttökohde tai se täytyy käsitellä edelleen esimerkiksi haihdutuksella. Kalvosuodatus voisi soveltua esimerkiksi laimean kenttäveden konsentrointiin ja tilavuusvirtauksen pienentämiseen.

Aktiivi- ja biohiilisuodatusmenetelmien tulokset ovat kattavasti omassa raportissaan¹⁰. Tutkittu hulevesi sisälsi pieniä määriä typpeä, mutta sitä ei juuri pidättäytynyt kolonneihin. Myöskään havaittavaa muutosta syöttöveden pH- ja sähkönjohtokykyarvoihin ei tapahtunut jäteveden suotautuessa kolonnien läpi.

Kiintoaineen pidättäminen ja fosforin reduktio toimivat sen sijaan hiilipedeissä hyvin. Fosforin reduktio on kokeiden alussa parhaimmillaan, biohiilipedillä jopa yli 70 %. Mikään hiililaaduista ei kuitenkaan osoittautunut selvästi muita paremmaksi.

Kaiken kaikkiaan aktiivi- ja biohiilellä on hyvä puhdistustulos monille haitta-aineille, kuten lääkeaineille, synteettisille kemikaaleille, kuten per- ja polyfuori-alkyylidisteille (PFAS) ja raskasmetalleille. Sen sijaan typen suhteen tulos jäi vaatimattomaksi.

Biohiiliä on potentiaalisesti mahdollista hyödyntää suodatuksen jälkeen esimerkiksi maanparannukseen, jolla saataisiin tuotua maakerrokseen ravinteita ja samalla myös sidottua hiiltä maaperään. Kokeen tulosten perusteella hyötynä on maaperään samalla saatava fosfori, jos se vain on hiilessä liukoissa muodossa, eikä esimerkiksi niukkaliukoisena yhdisteenä raudan kanssa sitoutuneena. Käytännössä jatkohyödyntämisen ratkaisujen löytäminen edellyttää lisätutkimuksia käyttökohteiden löytämiseksi, erityisesti Jäte kukon alueen ulkopuolelle maanparannustarkoitukseen.

⁹ Puhdistusprosessi

¹⁰ Bio- ja aktiivibiilisuodatus koeajo, Kierto-hanke TP6 koe 2

IONINVAIHTO (WEEEFINER 4D-SIEPPARITEKNOLOGIA)

Weeefinerin kokeissa saatiin rohkaisevia tuloksia erityisesti typen osalta. Typen pitoisuus saatiin laskettua alle BAT-rajan (kokonaistypen tavoitearvo 25 mg/l, ammonium-typenä 32 mg/l), tosin menetelmän tämänhetkinen kapasiteetti voi tulla epäpuhtaammissa vesissä rajaksi; suotoveden korkean ammoniumpitoisuuden johdosta kapasiteetti täyttyy nopeasti. Tarkemmat tulokset löytyvät omasta raportistaan¹¹.

Weeefinerin omien testien mukaan heidän tekniikkaansa soveltuu tehokkaasti paitsi metallien myös nitraatin poistoon vesistä. Huomioitavaa on, että prosessi ei ole koskaan täysin selektiivinen siepattavan kationin/anionin suhteen, vaan nitraatin lisäksi siepparimateriaaliin sitoutuu esimerkiksi sulfaatti. Ei-halutun ionin sitoutuminen vähentää luonnollisesti ioninvaihtotehoa.

Eduiksi prosessista voidaan erityisesti lopputuloksena saatavien ravinteiden ja metalli-ionien talteenotto pesuliuksesta. Lisäksi prosessin koko on kompakti eikä se vaadi suuria jäteveden pH:n muutoksia.

Haittapuoleksi nykyisessä teknologiassa nousevat talteen otetun ravinneliuoksen sisältämät suolat, mikä voi kyseenalaistaa sen soveltumisen lannoitukseen. Lisäksi prosessi vaatii esikäsittelyn ja kilpailevat ionit voivat häiritä sitä. Haitoista huolimatta menetelmä oli tutkituista ainoa, jolla päästiin tavoiteltavaan typen reduktioon, joten teknologian kehityttyä sitä on kannattavaa pilotoida Jätekeskuksen kokonaisvedelle.

INVESTOINTISUUNNITELMA RAVINTEIDEN TALTEENOTON JATKUVASTA LAITOKSESTA JÄTEKUKOLLE

Ravinteiden puhdistuksen ja talteenoton laitoksen investointisuunnitelmaa varten Jäte kukko on saanut tarjouksia eri toimijoilta, kuten Veolia Actiflo mini -yksiköstä laimeille kenttävesille ja Weeefinerin prosessista. Varsinaista investointisuunnitelmaa varten hanke tuotti tässä kappaleessa tiivistetyt ehdotukset ja arviot.

Projektin tavoitteen mukaisesti (mallin luominen ravinteiden talteenottoon jätekeskuksen jätevedestä) tutkimusten ja selvitysten tuloksena esitetään seuraavaa:

- 1) Erotetaan väkevät ja laimeat jätevedet toisistaan. Tehdään ilmastetut tasausaltaat ko. jakeille
- 2) Tehdään kemiallinen puhdistamo aluksi laimeille jätevesille, jolla saadaan talteen orgaanista ainesta ja fosfori. Suunnitellaan kemiallinen puhdistamo sen verran isommalle kapasiteetille, että siihen voidaan tulevaisuudessa ottaa koko jätevesivirtaama, sisältäen myös väkevät jätevedet. Hyvin suunniteltu flotaatioprosessi soveltuisi paremmin myös väkeville jätevesille ja siitä saataisiin sakeampaa lietettä kuin Actiflo-prosessista. Lieke voitaisiin toimittaa lannoitteeksi esim. Gasumin kautta tai kompostointiin. Tätä varten on selvittävä tarvittavat luvat.
- 3) Odotellaan että Weeefiner tai jokin muu yritys saa kehitettyä tuotteensa luotettavaksi nitraatin erotukseen. Tässä vaiheessa pilotoidaan kyseinen nitrifiointi + typenerotusprosessi kokonaisjätevesillä aidossa lämpötilassa. Weeefinerin tavoitteena on saada lopputuote kaliumnitraattina, joka olisi jo kenen tahansa markkinoitavissa lannoitteeksi.
- 4) Laajennetaan prosessia kokonaisjätevedelle.

¹¹ Weeefiner koonti

Edellä mainitun puhdistamoprosessin kokonaisinvestointikulut ovat karkeasti 500 k€ (kemiallinen käsittely) + 500 k€ (nitrifiointi + Weeefiner) ilman tasausallasta, jotka perustuvat seuraaviin laskelmiin.

Käyttökulut, pelkät laimeat vedet:

Kemikaalikulut:

$$\text{PAX } 250 \text{ m}^3/\text{d} * 160 \text{ g/m}^3 = 40 \text{ kg/d} * 1 \text{ e/kg} * 350 \text{ d/a} = 14\,000 \text{ e/a}$$

$$\text{Polymeeri } 250 \text{ m}^3/\text{d} * 2 \text{ g/m}^3 = 0,5 \text{ kg/d} * 5 \text{ e/kg} * 350 \text{ d/a} = 875 \text{ e/a}$$

$$\text{Rikkihappoa muutama kanisteri vuodessa} = 500 \text{ e/a}$$

$$\text{Sähkökulut ml. lämmitys: } 10 \text{ kW} * 24 * 350 = 84 \text{ Mwh/a} * 10 \text{ e/Mwh} = 8400 \text{ e/a}$$

$$\text{Liete (flotaatio): } 150 \text{ g/m}^3 * 250 \text{ m}^3/\text{d} = 37,5 \text{ kg/d} / 1,5 \% = 2,5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Operointi + huolto (oma työ) n. } 2\text{-}3 \text{ h/d: } 500\text{-}800 \text{ h/a}$$

$$\text{Huolto ulkoinen, lähinnä SAI ja lumen auraus } 50 \text{ h/a (arvio)}$$

Huollossa ja operoinnissa korostuu, että laitos suunnitellaan oikein ja toteutetaan hyvillä materiaaleilla ja komponenteilla, mikä nostaa hankintahintaa.

Käyttökulut, kaikki vedet:

Kemikaalikulut:

$$\text{PAX } 350 \text{ m}^3/\text{d} * 200 \text{ g/m}^3 = 70 \text{ kg/d} * 1 \text{ e/kg} * 350 \text{ d/a} = 24\,500 \text{ e/a}$$

$$\text{Polymeeri } 350 \text{ m}^3/\text{d} * 2 \text{ g/m}^3 = 0,7 \text{ kg/d} * 5 \text{ e/kg} * 350 \text{ d/a} = 1225 \text{ e/a}$$

$$\text{Rikkihappoa (Tai suolahappoa, jos sulfaatti syö Weeefinerin tehoa) vähän reilummin vuodessa} = 1500 \text{ e/a}$$

$$\text{Sähkökulut ml. lämmitys: } 20 \text{ kW} * 24 * 350 = 168 \text{ Mwh/a} * 10 \text{ e/Mwh} = 16800 \text{ e/a}$$

$$\text{Liete (flotaatio): } 200 \text{ g/m}^3 * 350 \text{ m}^3/\text{d} = 70 \text{ kg/d} / 1,5 \% = 4,7 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Weeefiner-prosessin käyttökulut: Kemikaalit } 43\,500 \text{ e, vesi } 3680 \text{ e, sähkö } 3500 \text{ e ja ioninvaihtomateriaalin vaihto } 17\,500 \text{ e}$$

$$\text{Operointi + huolto (oma työ) n. } 4\text{-}5 \text{ h/d} = 1000\text{-}1200 \text{ h/a}$$

$$\text{Huolto ulkoinen, lähinnä SAI ja lumen auraus } 100 \text{ h/a.}$$

Näiden tulosten pohjalta typen talteenotto Jäte kukon jätevesistä on nykytekniikalla vielä ilmeisen kannattamatonta. Lisäksi prosessi kuluttaa kemikaaleja, polttoainetta ja muita resursseja, ja tuloksena saadaan melko vaatimaton määrä (typpenä laskettuna 10 tn/a) laimeaa typpilannoitetta.

HANKKEELLE ASETETTUIJEN KRITERIEN TOTEUTUMINEN

EU:n elpymis- ja palautumistukivälineestä (RRF) rahoitettuna projektina KIERTO-hankkeesta edellytettiin hyödynnettävien jakeiden sisältämien ravinteiden talteen ottamista vähintään 50 % kuivapainona laskettuna siten, että syntyvillä ravinnetuotteilla voidaan korvata neitseellisiä raaka-aineita. Lisäksi kehitettävien tai käyttöön otettavien tekniikoiden osalta tavoiteltiin vähintään tason 6 teknistä valmiusastetta (TRL), mikä tarkoittaa, että tekniikasta on olemassa soveltuvassa toimintaympäristössä testattu prototyyppi tai malli. Hankkeen on myös täytettävä koko elinkaarensa ajan ”Ei merkittävää haittaa” -periaatteen (DNSH = Do No Significant Harm) mukaiset vaatimukset. Nämä kriteerit ja niiden toteutuminen käydään tässä kappaleessa läpi.

RAVINTEIDEN TALTEENOTTO POTENTIAALI

Ravinteiden talteenotossa on tavoiteltu sitä, että käytettävät tekniikat erottavat kierrätettäväksi 70 % jäteveden tyypestä ja 80–90 % jäteveden fosforista. Tämä täyttyi kummankin ravinteiden osalta ainakin yhdellä selvitetystä tekniikoista.

Tyypin osalta löydettiin testattavaksi tosin vain yksi potentiaalinen ravinteiden kierrätykseen soveltuva tekniikka, joka oli Weeefiner Oy:n 4D Sieppariteknologia. Tekniikan testauksessa päästiin vähintään 70 % reduktioon. Weeefinerin lopputuote on myös mahdollista saada suoraan kierrätettävään muotoon, kunhan teknologia lopullisesti valmistuu.

Fosforia saatiin talteen annetulla reduktiolla testatuista tekniikoista sähkösaostuksella ja Actiflo-hiekkalaskeutusmenetelmällä. Annettua pienemmillä reduktioilla fosforia saatiin talteen myös aktiivi- ja biohiiliteistien yhteydessä (PO₄-P reduktio-% max. 70 %). Kaikissa näissä menetelmissä fosfori on sitoutuneena muihin aineisiin lietteessä, joten sen kierrätyskäyttö vaatii jatkojalostamista vielä.

TEKNINEN VALMIUSASTE

Hankkeessa testattujen tekniikoiden tekniset valmiusasteet ovat arvioituna seuraavassa taulukossa.

Menetelmä	TRL-taso	Perustelu
MBBR (nitrifikaatio): Savonia-ammattikorkeakoulun testilaitteisto, jolla saatiin ylläpidettyä toimivaa nitrifikaatiota	9	MBBR jo vakiintuneessa käytössä nitrifikaatiossa
Sähkösaostus: Biobros Oy:n sähkösaostuslaitteisto	7-8	Laitteistoa testattua useammassa kohteessa KIERTO-hankkeen lisäksi
4D-Siepparit: Weeefiner Oy:n teknologia: KIERTO-hankkeessa testattiin laboratoriomittakaavassa	8-9	Teknologia kaupallisella tasolla, kentältä löytyy toimivia tuotteita
Actiflo: Veolian valmistama tuote: KIERTO-hankkeessa testattiin Veolian koelaitteistoa	9	Laitteisto teknisesti ja kaupallisesti markkinoilla
Aktiivi- ja biohiilisuodatus: Savonia-ammattikorkeakoulun testilaitteisto	4	Savonian valmistamat kolonnit ja Savonian laboratoriopuitteet kokeelle

DNSH-KRITEERIT

Hanke toteutti hakuvaiheessa esitetyllä tavalla ei merkittävää haittaa -periaatteet. Ne on esitetty seuraavassa taulukossa.

	Kyllä	Ei	Perustelut
Ilmastonmuutoksen hillintä		x	Tukiohjelma tukee ilmastonmuutoksen hillintää tukevia ratkaisuja ja perustuu 045bis tagiin, joka on 100 % ilmastonmuutoksen hillintää tukeva toimenpide. Tukiohjelman kriteereissä edellytetään, että avustettavat hankkeet täyttävät ko. tagin vaatimukset. Hankkeessa toteuttavalla selvityksellä edistetään fosforin ja typen kierrätystä. Tekniikka vähentää jätevesikuormitusta jätevedenpuhdistamolle, minkä ansiosta energiaa ja kemikaaleja voidaan säästää jäteveden käsittelyssä. Hankkeessa tutkittavat prosessit kuluttavat energiaa ja kemikaaleja, mutta kokonaisvaikutuksena energian ja kemikaalien kulutuksen ei arvioida muuttuvan merkittävästi. Myös suorat kasvihuonekaasupäästöt, erityisesti typpioksiduulipäästöt, jäteveden käsittelystä voivat vähentyä. Hankkeesta ei katsota aiheutuvan merkittäviä vaikutuksia ilmastonmuutoksen hillintään joten sen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.
Ilmastonmuutokseen sopeutuminen		x	Hankkeessa selvitetään jätekeskuksen vesien paikallisen käsittelyn mahdollisia positiivisia vaikutuksia jäteveden käsittelyyn huippusadetilanteissa. Hankkeesta ei katsota aiheutuvan merkittäviä vaikutuksia ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, joten sen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.
Vesivarojen ja merten luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojele		x	Tutkittavan paikallinen käsittelyratkaisu edistää ravinteiden kierrätystä ja vähentää kuormitusta jätevedenpuhdistamolle, mikä edistää jäteveden puhdistuksen tehokkuutta ja siten vastaanottavan vesistön tilaa. Hankkeesta ei katsota aiheutuvan merkittäviä vaikutuksia merten luonnonvarojen kestäväan käyttöön ja suojeleluun, joten sen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.
Kiertotalous, mukaan lukien jätteen synnyn ehkäisy ja kierrätys		x	Hanke mahdollistaa kierrätysravinteiden uudelleenkäyttöä korvaten näin ollen neitseellisistä raaka-aineista valmistettuja tuotteita. Hanke edistää kiertotalouden toteutumista, joten sen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.
Ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen		x	Hankkeella ei arvioida olevan merkittäviä haittavaikutuksia ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseen ja vähentämiseen. Tuotettavien kierrätysravinnetuotteiden arvioidaan olevan varsin puhtaita, eivätkä ne aiheuta pilaantumisriskejä. Hankkeesta ei katsota aiheutuvan merkittäviä vaikutuksia ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseen ja vähentämisen osalta, joten sen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.
Biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojele ja ennallistaminen		x	Hanke edistää jäteveden puhdistuksen tehokkuutta, mikä edesauttaa vastaanottavan vesistön ekosysteemien tilaa. Kokonaisuutena vaikutukset biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojeleluun ja ennallistamiseen arvioidaan nykytiedon perusteella pieniksi. Hankkeen katsotaan olevan "ei merkittävää haittaa" -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta.

HANKKEEN VAIKUTUKSET

Hankkeen toi uutta tietoa ja ymmärrystä tutkittujen menetelmien valmiusasteeseen, nykytekniikan kehittämisen tarpeeseen ja suositeltaviin jatkotutkimuksiin. Hankkeen määrällisiä tuloksia esitetään myös raportin liitteenä olevassa Excel-tilukossa Raki_hankkeen_vaikutukset_lomake_KIERTO-hanke.

Hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli erityisesti symbioottisen ravinteiden talteenoton verkoston rakentaminen, jota käsitellään raportin [Yhteenveto-osassa](#). Toteutuessaan symbioottiset toimintamallit potensioisivat hankkeen vaikutuksia.

Erityisesti typen talteenottoteknologioiden kehittymisen jälkeen hankkeen ympäristövaikutukset nähdään moninaisiksi. Niihin vaikuttavat sekä typen että fosforin talteenoton onnistuminen, toimivan symbioosin luominen ja mallin monistettavuus vastaaviin jätekeskuksiin.

RAVINTEIDEN KIIERRÄTYS

- Typen talteenotto: Jätekukon jäteveden kokonaistyyppimäärä on noin 10–12 tn/a. Weeefinerin prosessin tehokkuus typen talteenotossa riippuu nitrifikaation onnistumisesta ja prosessin lopullisesta reduktiosta. Prosessi on vasta kehittymässä, mutta on teknisen kehityksasteensa noustessa suositeltava pilotoitavaksi myös kylmiin jätevesiin. Onnistuessaan se voi lisätä kierrätysravinteiden käyttöä ja vähentää uusien lannoitteiden tarvetta. On kuitenkin huomioitava, että kylmien vesien nitrifikaatio on nykyisellään haastavaa, mikä voi rajoittaa talteenoton tehokkuutta. Lisäksi tarvitaan kustannustehokas ratkaisu liuoksen väkevöittämiseksi, sillä nykyisellään laimea nitraattiliuos aiheuttaisi suuria kuljetuskustannuksia.
- Fosforin talteenotto: Fosforin osalta on mahdollista saavuttaa jopa yli 95% talteenotto kemiallisen käsittelyn avulla. Jätekukon tapauksessa tämä tarkoittaisi noin 200 kg/a. Nykyisessä tilanteessa on kuitenkin edelleen haasteena fosforin niukkaliukoisuus, kun sitä saostetaan alumiinilla tai raudalla, jolloin talteen saatu fosforijae ei sovellu sellaisenaan peltojen lannoitukseen.

KIERTOTALOUDEN TOTEUTUMISEN HYÖDYT

- Vähentynyt lannoitteiden tuotanto: Kierrätysravinteiden käytön lisääminen vähentää uusien lannoitteiden tarvetta. Epäorgaanisten lannoitteiden tuotanto on energiantensiivistä ja aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Myös muihin teollisuuden prosesseihin syötettynä talteen otetut typpi- ja fosforijakeet toisivat kiertotalouden ratkaisuja ja vähentäisivät neitseellisten raaka-aineiden tarvetta.
- Typen haihduttamisen minimointi: Typen talteenotolla voidaan merkittävästi vähentää typen haihduttamista ilmakehään, mikä osaltaan hillitsee ilmastonmuutosta.
- Vesistökuormituksen väheneminen: Ravinteiden tehokas talteenotto jätevedestä vähentää vesistöihin päätyvien ravinteiden määrää ja siten vähentää rehevöitymistä.
- Kemikaalien käytön vähentäminen: Jätevesien käsittelyssä käytettävien kemikaalien määrää voidaan jatkossa vähentää, jos ravinteet saadaan talteen tehokkaasti.
- Lietteen määrän vähentäminen: Ravinteiden talteenotto voi vähentää syntyvän lietteen määrää, mikä helpottaa lietteen käsittelyä ja loppusijoitusta.
- Rehevöitymisen vähentäminen: Vesistökuormituksen väheneminen parantaa vesistöjen tilaa ja edistää biologista monimuotoisuutta.

ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET

Hankkeen ympäristövaikutukset riippuvat pitkälti siitä, kuinka tehokkaasti ravinteet saadaan talteen ja hyödynnettyä. Onnistuminen edellyttää:

- Nitrifikaation tehostamista: Kylmien vesien nitrifikaatio on haasteellista, ja sen tehostaminen on avainasemassa typen talteenoton onnistumiselle.

- Konsentroidin parantamista: Laimeiden lietteiden ja nitraattiliuosten kuljetuskustannukset ovat korkeat, joten konsentroidin parantamista on tärkeää tutkia.
- Fosforin liukoisuuden parantamista: Fosforin hyödyntäminen lannoitteena edellyttää sen liukoisuuden parantamista.
- Yhteistyötä ja innovaatioita: Onnistunut ravinteiden talteenotto ja hyödyntäminen edellyttää toimivaa yhteistyötä eri toimijoiden, kuten jätekeskusten, tutkimuslaitosten ja lannoitevalmistajien, välillä. Lisäksi tarvitaan jatkuvaa tutkimusta ja kehitystyötä, jotta menetelmiä voidaan parantaa ja uusia innovaatioita löytää.

TALOUSRAPORTTI

Hankkeen kokonaiskustannukset olivat 224 400 euroa. Ympäristöministeriön kautta saatu rahoitus oli 145 860 euroa ja hanketoimijoiden oma rahoitus yhteensä 78 540 euroa. Hanke pysyi alkuperäisessä kokonaisbudjetissaan. Eri kustannuslajeihin on tullut hankkeen aikana pieniä muutoksia: siirtoja vuosille 2023 ja 2024 budjetoitujen kustannusten sekä eri kustannuslajien väleillä, jotka on sovittu kussakin vaiheessa valvojan ja rahoittajan kanssa.

YHTEENVETO

Hankkeen tulosten valossa on erityisen tärkeää jatkaa typen talteenottomenetelmien tutkimusta ja kehittämistä. Vaikka typen talteenotto on osoittautunut haastavaksi kylmissä olosuhteissa, on sen merkitys kiertotalouden edistämisessä ja ravinteiden tehokkaammassa hyödyntämisessä merkittävä.

Typen talteenotto Jätekukon jätevesistä on nykytekniikalla kannattamatonta. Prosessi kuluttaa paljon kemikaaleja, polttoainetta ja resursseja, ja tuloksena saadaan vain pieni määrä (typen määräksi laskettuna noin 10 tn/a) laimeaa typpilannoitetta. Tulevaisuudessa kehitettävät uudet ja parannetut teknologiat voivat tehdä typen erotuksesta kannattavampaa ja ympäristöystävällisempää.

Kemiallisen puhdistamon ja typen talteenottoprosessin investointikustannukset laskettiin noin miljoonan euron suuruisiksi. Lisäksi käyttökustannukset ovat korkeat johtuen kemikaalien, sähkön ja työvoiman tarpeesta. Mahdollisesti toteutuessaan on tärkeää, että laitos suunnitellaan oikein ja toteutetaan laadukkailla materiaaleilla ja komponenteilla, jotta vältetään kalliilta huoltokustannuksilta.

Typen talteenoton kannalta lupaavaksi havaittiin Weeefinerin kehittämä ioninvaihtomenetelmä, jolla typpi saataisiin talteen nitraattiliuoksena. Menetelmä vaatii kuitenkin ammoniumin muuntamisen nitraatiksi, mikä on osoittautunut hankalaksi kylmissä olosuhteissa.

Jos ammoniumin muuntaminen nitraatiksi saadaan tehostettua, avaisi ioninvaihtoprosessi merkittäviä mahdollisuuksia typen talteenotolle. Tämän menetelmän jatkotutkiminen ja kehittäminen on avainasemassa typen talteenoton tehostamisessa ja sen hyödyntämisessä lannoitteena.

JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Hanke on tuottanut tietoa aikaisempien selvitysten nostamiin lisätutkimustarpeisiin. Samalla se luo myös seuraavia jatkotutkimusaiheita:

- Typen talteenotto kylmien vesien tilanteessa: Hankkeessa saatiin käytännön kokemuksia erilaisten menetelmien soveltuvuudesta kylmissä olosuhteissa, joita vallitsee Suomessa suuren osan vuodesta. Onnistumisen edellytyksiä olevaa Weeefinerin 4D-metallisieppariprosessia on kannattavaa pilotoida Jäte kukkon tai jonkin vastaavan jätekeskuksen kontekstissa koko jätevedelle teknologian lopullisesti valmistuttua.
- Haitta-aineiden poisto: Hankkeessa tutkittiin bio- ja aktiivihiihtuodatuksen tehokkuutta haitta-aineiden, kuten kiintoaineen ja fosforin, poistossa. Tulokset osoittavat, että menetelmä toimii hyvin, ja biohiiliä voi mahdollisesti jatkohyödyntää maanparannuksessa, mikä edellyttää potentiaalisten käyttökohteiden tutkimusta. Lisäksi tarvitaan jatkotutkimuksia haitta-aineiden, kuten mikromuovien ja orgaanisten yhdisteiden, vaikutuksista ja turvallisista raja-arvoista.
- Lietteen konsentrointi: Hankkeessa pilotoitiin menetelmiä, jotka tuottavat lietettä. Esimerkiksi Actiflo-prosessin pilotoinnissa havaittiin, että se toimii tehokkaasti kiintoaineen ja orgaanisen aineen poistossa, mutta laimea liete on haasteellinen hyödyntää. Tämä luo tarpeen laimean lieteen konsentroidiin keskittyville tutkimuksille.
- Käyttökelpoisuus lannoitteena ja maanparannuksessa: Fosfori on niukkaliukoisessa muodossa useissa sen talteenottoprosesseissa. Tämä luo tarpeen lisätutkimuksille fosforin liukoisuuden parantamiseksi.

SYMBIOOSIN MAHDOLLISUUDET JA HAASTEET KAUPALLISESSA KONTEKSTISSA

Symbioottisen verkoston rakentaminen on tehokkaampaa kuin yhden yksittäisen toimijan toimenpiteet vesien ravinteiden talteenotossa. Näin mahdollistuvat tehokkaammat resurssien käyttö ja suuremmat kerrannaisvaikutukset.

Vaikka symbioosi tarjoaa merkittäviä etuja ravinteiden talteenotossa ja kierrätyksessä, nykytilanteessa se kohtaa myös haasteita. Kaupallisten yritysten ensisijainen tavoite on voiton maksimointi, mikä voi hankaloittaa symbioosien syntymistä ja johtaa neuvotteluihin ja erimielisyyksiin siitä, kuka hyötyy eniten yhteistyöstä ja kuka maksaa investoinnit ja käyttökustannukset.

Tämä näkyy esimerkiksi jätevesipuolella, jossa symbioosi kunnallisten ja paperi- ja sellutehtaiden puhdistamojen välillä on jäänyt vähäiseksi. Vaikka tällaisessa yhteistyössä olisi potentiaalia selkeisiin molempia osapuolia hyödyttäviin tilanteisiin, käytännössä vain yksi esimerkki on toteutunut Raumalla.

Sama haaste ilmenee myös muilla aloilla, kuten hukkalämmön hyödyntämisessä.

Seuraavassa on tarkemmin kuvattu symbioosin etuja.

- Symbioosissa eri toimijat voivat jakaa resursseja ja osaamista, mikä tehostaa resurssien käyttöä ja vähentää kustannuksia.
- Symbioosi voi tuoda taloudellisia hyötyjä kaikille osapuolille, kun esimerkiksi toisen toimijan sivuvirtoja hyödynnetään ravinteiden lähteenä tai talteen otettuja ravinteita myydään lannoitteena.
- Yhteistyössä voidaan tehostaa resurssien käyttöä ja vähentää jätteen määrää, mikä minimoi ympäristövaikutuksia.
- Symbioosi mahdollistaa kokonaisvaltaisemman lähestymistavan ravinteiden talteenottoon ja kierrätykseen, kun eri toimijat voivat yhdistää osaamisensa ja resurssinsa.

- Yhteistyö voi edistää innovaatioita ja uusien teknologioiden kehittämistä, kun eri toimijat jakavat ideoita ja löytävät uusia ratkaisuja.

Jotta symbiooseja voitaisiin edistää kaupallisessa kontekstissa, on tärkeää löytää mekanismeja, jotka kannustavat yhteistyöhön ja takaavat reilun hyötyjen ja kustannusten jaon. Tarvitaan myös selkeitä sopimusmalleja ja avointa kommunikaatiota, jotta luottamus osapuolten välillä vahvistuu.

Mahdollisuuksien käytäntöön vienti edellyttää jatkoselvityksiä kierrätyslannoitteiden valmistajien kanssa: minkälaisia edellytyksiä ja vaateita on sille, että nämä voisivat ottaa talteen saatuja tuotteita vastaan. Kustannuslaskelma on kannattavaa tehdä huolella.

Aiemminkin [Ympäristöministeriön teettämässä selvityksessä](#) on todettu, että ravinteiden talteenotosta muodostuvien lisäkustannusten kattaminen ja kannattavan liiketoiminnan saavuttaminen edellyttävät etenkin alkuvaiheessa valtion tukia sekä ennustettavaa markkina- ja sääntely-ympäristöä. Hallinnon ohjauskeinoilla voitaisiin vauhdittaa uusien teknologioiden käyttöönottoa merkittävästi, vaikka markkinalähtöinen tarve ensisijaisesti ohjaakin kehitystä.

Kaiken kaikkiaan yhteistyö eri sidosryhmien välillä on keskeistä innovatiivisten ratkaisujen edistämisessä. Käsillä oleva hanke lisäsi paitsi ymmärrystä ja soveltuvien tekniikoiden testausta myös yhteistyömallien rakentamista.

HANKKEEN LOPPUTUOTOKSET

1. Jäte kukkon alueen suoto-, hule- ja tasausaltaan vesien laboratorioanalyysien tulokset, sis. mm. virtaama, pH, sähkönjohtavuus, COD_{Cr}, BOD₇-ATU, typen, fosforin, kloridin ja eri metallien pitoisuudet, vesikirpputesti ja öljyt C10-C40: **Suoto- hule- ja tasausaltaan vesitulokset 2002-2003**
2. Savonia-ammattikorkeakoulun toimintaraportti kesän 2023 Kierto-hankkeen toimista – Jäte kukkon ravinnevirtojen hahmottaminen sekä hule- ja suotovesien sisällön ja volyymin analyysien kirjallinen tiivistelmä: **Toimintaraportti_Savonia_6.9.2023**
3. Kirjallinen raportti typen talteenotosta Weeefiner-prosessilla: **Weeefiner_koonti**
4. Huleveden, suotoveden ja kokoomanäytteiden laboratorioanalyysien tulokset, sis. mm. pH, lämpötila, sähkönjohtavuus, LCK-testit, TOC-määritykset, AAS Kokonaismetallit ja AAS Liukenevat metallit: **Kiertohanke_tulostaulukot**
5. Biobrosin elektrokoagulaatiopilotin tulokset taulukoituna: **Kiertohanke_EC_KONTIN_tulostaulukot_Biobros_28.2.2024**
6. Loppuraportti Biobrosin elektrokoagulaatiopilotin tuloksista: **2024-Biobros-EC_pilotit_Kierto-hanke_Loppuraportti Jäte kukko_29.2.2024**
7. Savonia-ammattikorkeakoulun raportti MBBR-EC-koeajosta Jäte kukkon tasausaltaan jätevedellä: **MBBR-koeajo, Kierto-hanke TP5 koe 1**
8. Savonia-ammattikorkeakoulun raportti Jäte kukkon jätekeskuksen huleveden bio- ja aktiivihiihiisuodatuskokeesta: **Bio- ja aktiivihiihiisuodatus koeajo, Kierto-hanke TP6 koe 2**

9. Actiflo-pilotoinnin raportti Jätekukon kenttävesille: **Actiflo pilotointi**
10. Jätekukon tiivistelmä hankkeen aikana pilotoiduista ja muista teknisesti käyttöönotettavista typpirikkaiden suodosvesien puhdistusmenetelmistä sekä perustellut johtopäätökset:
Puhdistusprosesseja
11. AFRY Oy:n raportti Kierto-hankkeen aikana tehdyistä tutkimuksista ja suunnitelmista:
Jätekukkolaite- ja investointisuunnitelma_selvitys tehdyistä tutkimuksista ja suunnitelmista AFRY
12. Jätekukon raportti prosessin valinnasta jätekeskuksen jätevesille, sisältäen varteenotettavat teknologian perusteluineen sekä alustavan kustannuslaskelman: **Jäteveden käsittelymenetelmät -loppukaneetti**

HANKKEEN OSARAOITTAJAT



Euroopan unionin rahoittama –
NextGenerationEU



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment