

Prizztech Oy

BioP-Rec

Fosforin talteenotto ja hyödynnet-
tävyys BioP-jätevesiprosessista
1.9.2022 – 30.11.2024

Pirjo Taube

LOPPURAPORTTI

Diaarinumero VN/6276/2022

RAHOITUSLÄHDE: YMPÄRISTÖMINISTERIÖ

TIIVISTELMÄ

Hankkeessa kehitettiin ja otettiin käyttöön pilot-laitteisto jätevedenpuhdistamon palautuslietteen ravinteista, erityisesti fosforin, saostamiseksi lannoitetuotteeksi, struviitiksi. Pilotointeja toteutettiin testaamalla erilaisia lisäravinteiden lähteitä, kuten teollisuuden sivuvirtoja sekä tutkimalla vaihtoehtoisia struviitin saostusmenetelmiä ja lisäaineita. Hankkeessa toteutettiin pilot-laitteiston ja sen kokeilujen lisäksi pienimuotoisempia struviitin saostuskokeiluja, struviittisakkojen analyysijä, polymeeritestejä, palautuslietteen vanhennuskokeita sekä teetettiin ostopalveluna struviitin sähkökemialliset saostuskokeet.

Kokeilujen tuloksena saatua struviittisakkaa ja sen sisältämiä haitta-aineita analysoitiin laajasti, mm. palontorjunta-aineiden, lääkeaineiden ja hormonien osalta. Analyysien mukaan saatu struviittisakka oli melko puhdasta struviittia ja sisälsi vain vähäisiä määriä haitta-aineita, osa jopa alle lannoitteiden tyypillisten määritysrajojen. Myös havaitut metallipitoisuudet alittivat lannoitteille sallitut raja-arvot lähes kaikissa tapauksissa. Saaduista struviittisakoista otettiin myös pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvia.

Hankkeen aikana maailman poliittinen tilanteen epävakaus on jatkunut, mikä on heijastunut myös lannoitteiden hintoihin ja saatavuuteen. Lannoitteiden hintaan on viime vuosina vaikuttanut merkittävästi energian hinta, vuosina 2021–2022 väkilannoitteiden hinnat jopa kaksinkertaistuivat. Tämä hintojen nousu on tehnyt kierrätyslannoitteista entistä houkuttelevamman vaihtoehdon käyttäjille. Ukrainan sodan myötä Suomella on tullut tarve lisätä omavaraisuutta lannoitteiden osalta, ja kierrätyslannoitteiden laajempi käyttö voisi parantaa huoltovarmuutta tällä alueella.

Viestintää toteutettiin hankkeen aikana työpajoissa eri jätevesialan organisaatioiden kanssa, webinaareissa, seminaareissa sekä julkaisuissa Satakunnan Kansa Länsi-Suomessa sekä Vesitalouslehdessä.

Sisällysluettelo

1.	Hankkeen tausta ja tavoitteet	3
2.	Hankkeen toteutus	4
2.1	Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu.....	4
2.2	Hankkeen kokeilut.....	6
2.2.1	Polymeerit.....	6
2.2.2	Struviitin kiteytys	7
2.2.3	Elektrokoagulaatio	10
2.2.4	Lietteen vanhennus lisäaineilla.....	11
2.2.5	Lietteen vanhentaminen ultraäänellä	11
2.3	Hankkeen viestintä.....	11
3.	Hankkeen tulosten esittely	12
3.1	Kokeilujen tulokset.....	13
3.1.1	Keskeiset tulokset struviittikokeista	13
3.1.2	Pilot-kokeiden struviittisakkojen laajemman haitta-aineanalyysin tulokset.....	15
3.2	Yhteenveto ja raportti.....	16
4.	Hankkeen vaikutukset	18
5.	Talousraportti	19
6.	Yhteenveto	20

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Hankkeen nimi oli 'Fosforin talteenotto ja hyödynnettävyys BioP-jätevesiprosessista (BioP-Rec)'. Toimeksiantajana oli Prizztech Oy ja projektipäällikkönä toimi Pirjo Taube. Asiantuntijoina toimivat liris Puhakka ja Julia Pihlavisto-Hakala (1.10.2024 alkaen).

Hankkeen yritysrahoittajina toimivat Berner Chemicals Oy ja Huittisten Puhdistamo. Hanke oli saanut rahoitusta ympäristöministeriön Yhdyskuntien ravinteiden kierrätyksen ja talteenoton hankkeiden avustushausta.

Jätevesien sisältämän fosforin talteenoton lisäämistä ja kehittämistä kierrätettävässä muodossa tulee edistää, jotta varmistetaan fosforin riittävyys ja saostuskemikaalien huoltovarmuus. Suomessa fosforin poistoon jätevesistä käytetään yleisesti rauta- ja alumiiniyhdisteitä, jotka sitovat fosforin jätevesilietteeseen ja estävät sen pääsyä vesistöihin. Tämä kuitenkin sitoo fosforin pysyvästi, estäen sen hyödyntämisen kasvilannoitteena.

Fosfori voidaan sitoa biologisesti jätevesilietteeseen BioP-prosessin avulla ilman kemikaaleja. Tämä menetelmä ei ole yleisesti käytössä Suomessa, mutta sen käyttö on yleisempää muualla maailmalla ja Euroopassa. Suomessa hybridimallia, eli biologista fosforinpoistoa sekä kemikaaleja, hyödyntävä prosessi on esimerkiksi Huittisten Puhdistamolla.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää pilot-mittakaavainen menetelmä fosforin talteenottoon BioP-prosessin reaktivesistä Huittisten jätevesilaitoksella. Fosfori saostettiin struviitiksi, joka on lannoitustuote. Fosforin, typen ja magnesiumin saostuessa magnesiumammoniumsulfatiksi eli struviitiksi, kemiallisena yhdisteenä sen puhtausasteen voidaan arvioida olevan korkeampi kuin muilla puhdistamopohjaisilla lannoitetuotteilla, mädätejäännöksellä tai jätevesilietteellä, joissa jätevesilietteen epäpuhtauksia esiintyy enemmän.

Hankkeessa toteutettiin kirjallisuus- ja teknologiaselvitys BioP-prosessista ja struviitin saostusmenetelmistä. Huittisten Puhdistamolle hankittiin struviitin saostukseen panosprosessina toimiva pilot-laitteisto, jolla tehtiin koeajoja struviitin saostamiseksi. Hankkeessa kokeiltiin myös vaihtoehtoisia kemikaaleja kemialliseen saostukseen, kuten erilaisia magnesiumlähteitä, sekä biopolymeerejä vaihtoehtona perinteisille synteettisille polymeereille.

Hankkeessa rakennettiin yhteistyöverkoston jätevedenpuhdistamojen, vaihtoehtoisten kestävien kemikaalien tuottajien, uusien saostusmenetelmien kehittäjien, lannoitetuottajien ja struviitin kiteytykseen vaaditun tekniikan toimittajien välille.

2. Hankkeen toteutus

2.1 Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu

Hankkeen toteutusaika oli 1.9.2022-30.11.2024. Toteutus jaettiin neljään työpakettiin.

Työpaketissa 1 tehtiin kirjallisuuskatsauksia fosforin kierrätettävyyteen jätevesistä BioP-prosessin yhteydessä. Katsauksissa käsiteltiin muun muassa struviitin saostamista jätevesilietteestä, vaihtoehtoisten biopolymeerien hyödynnettävyyttä ja niiden käytettävyyttä BioP-prosessissa, sekä muiden teknologioiden, kuten struviitin sähkökemiallisen saostuksen, käytettävyyttä puhdistamopohjaisten jätevesien fosforin talteenotossa. Lisäksi tarkasteltiin lainsäädäntöä, eurooppalaista fosforikeskustelua ja jätevesilietepohjaisten lannoitevalmisteiden nykytilannetta ja tulevaisuutta.

Työpaketissa 2 Huittisten Puhdistamolle suunniteltiin ja hankittiin pilot-laitteisto, jonka avulla jätevedestä voidaan saostaa struviittia. Laboratoriomittakaavaisia kokeita toteutettiin esimerkiksi struviitin sähkökemiallisesta saostuksesta. Lisäksi työpaketissa analysoitiin pilot-laitteistolla saatuja struviittisakkoja ja kahdesta erästä tehtiin myös haitta-aineanalyysit.

Työpaketissa 3 arvioitiin BioP-prosessin ja fosforintalteenoton käytettävyyttä teollisessa mittakaavassa. Sen ohessa arvioitiin kokeiden perusteella struviitin saantoprosentteja tietyistä lietemäärästä ja potentiaalisia talteenotettavan fosforin määriä puhdistamolle tulevasta jätevesivirrasta.

Työpaketti 4 koostui viestinnästä ja infopaketeista. Hanketta on esitelty omassa webinaarissa ja hanketta esitellään vielä loppuwebinaarissa. Hanketta on esitelty myös muiden organisaatioiden tapahtumissa. Työpajoja on pidetty mm. Mikkelin XAMK:n kuitulaboratorion kanssa struviitin valmistuksesta, Virtojen Raki-hankkeen osallistujien kanssa ultraäänitesteihin liittyen, sekä Porin TUNI:n XRF-laitetekniikan tiimoilta. Hanketta esiteltiin myös paikallisessa satakuntalaisessa lehdessä Satakunnan Kansa Länsi-Suomessa sekä kirjoitettiin artikkeli Vesitalous-lehteen.

Hankkeen työpakettien tarkemmat toimenpiteet ja aikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu

AIKATAULU & TOIMENPITEET	2022			2023			2024					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TP1: Kirjallisuuskatsaukset ja kartoitukset												
Fosforin kierrätettävyys jätevesistä biologisin ja kestävin menetelmin												
Puhdistamopohjaisten lannoitettujen lainsäädäntö, poliittiset ja markkinaohjaukset												
Teknologiaselvitys koeajolaitteistojen vaihtoehdoista												
TP2: Teollinen kokeilu												
Teknologia-asiantuntijan selvitys ja neuvotteluja												
Teknologia-asiantuntijan kilpailutus ja valinta												
Struviitin koeajolaitteiston suunnittelu ja hankinta												
Struviitin valmistuksen vaihtoehtojen selvittely ja opintomatka referenssilaitokselle												
Biopolymeerien laboratoriokokeet												
Laitteiston asennus												
Laitteiston käyttöönotto												
Struviitin koeajot BioP-aikana												
Muiden saostuskemikaalien ja teknologioiden kokeilu												
Elektrokoagulaatiokokeilujen suunnittelu												
Elektrokoagulaatiokokeilujen toteutus												
TP3: Prosessin käytettävyyden arviointi												
Struviitin saostuksen vaikutukset prosessiin												
Muiden saostusmenetelmien arviointi ja kannattavuuslaskelmat												
TP4: Viestintä ja infopakettit												
Webinaarit												
Työpajat												
Raportointi												

Struviitin saostuskokeiden yhteydessä kokeiltiin myös biopohjaisten polymeerien käyttöä. Biopolymeerit ovat kasvi- tai eläinperäisiä orgaanisia molekyyliä, joita voidaan jalostaa ja käyttää vesien käsittelyssä saostuskemikaaleina. Biopolymeerien etuina perinteisiin polymeereihin ja flokkikemikaaleihin verrattuna ovat niiden biohajoavuus ja raskasmetallittomuus. Tämän ansiosta niihin sitoutuneet ravinteet ovat helpommin kasvien käytettävissä, eikä liete sisällä raskasmetalleja.

Maanviljelyksen maaperä ei uusiudu ja on riippuvainen lannoitteista, kuten fosforista, typeästä, kaliumista, hivenravinteista ja hiilestä. Maanviljelyksestä huuhtoutuu ravinteita vesistöihin kuormittamaan vesistöjä. Struviitti on hidasliukoinen lannoite, jota voitaisiin käyttää vähentämään vesistöjen rehevöitymistä. Se on yksi harvoista lannoitteista, jotka sisältävät tyypeä veteen liukenemattomassa, hitaasti assimiloituvassa muodossa. (Negrea et al. 2010) Struviittilannoitteet vähentävät myös tarvetta käyttää lannoitettutuotannossa neitseellisiä materiaaleja, kuten fosfaattikiveä (Cooper et al. 2011). Luonnonvarakeskuksen (Lemola et al. 2023) raportin mukaan kierrätyksellä voitaisiin kattaa 90 prosenttia kasvien fosforilannoituksen tarpeesta Suomessa. Yhdyskuntien jätevesilietteen hyödyntäminen kattaisi kierrätettävissä olevasta fosforista 19 %.

Struviitti on hyvin heikosti liukeneva neutraalissa pH:ssa ja vapauttaa fosforia ja typpeä hitaasti, mikä vähentää ravinteiden huuhtoutumisriskiä rankkasateiden aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että ravinteet pysyvät pidempään maaperässä kasvien käytettävissä eivätkä liukene helposti pintavesiin tai pohjavesiin. Hidas fosforin ja typen vapautuminen tukee tasapainoista mikrobitoimintaa ja voi edistää ravinteiden tehokasta käyttöä maaperässä.

”Kohti kestävämpiä ratkaisuja jätevesien käsittelyssä” -webinaari järjestettiin 28.9.2023. Webinaarissa kuultiin muun muassa hankkeen etenemisestä, fosforin talteenottomenetelmistä jätevedenpuhdistamoilla, struviitin saostuksesta ja jätejakeiden kierrätyksestä, sekä saostuskemikaaleista ja polymeereistä. Webinaariin sisältyi myös vierailu Huittisten Puhdistamolle katsomaan pilot-laitteistoja.

Pientyöpajoja järjestettiin Mikkelin XAMK:n Kuitulaboratorion kanssa sekä Virtain Raki-hankkeen ”Pienestä puhdistamosta ravinteet irti (Pippuri)” osallistujien kanssa. Myös Porin TUNI:n Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunnan työntekijöiden kanssa keskusteltiin ja testattiin heidän XRF-laitettaan. Yhdessä Oulun yliopiston kanssa tulkittiin heiltä tilattujen struviittisakan analyysien tuloksia.

Hankkeen yhteistyöorganisaatioita olivat Huittisten Puhdistamo, Berner Chemicals ja Renotech. Struviittitekityksen pilotoinnit toteutettiin Huittisten Puhdistamolla, Berner Chemicals tarjosi hankkeelle magnesiumkemikaaleja ja Renotech haitta-analyyseihin asiantuntijatukeen.

2.2 Hankkeen kokeilut

2.2.1 Polymeerit

Hankkeessa kokeiltiin Huittisten Puhdistamon palautuslietteen sekä Emomylyn biokaasulaitoksen rejektin laskeuttamiseen erilaisia polymeerejä, sekä perinteisiä polymeerejä että biopolymeerejä, sekä yhdistelmiä näistä. Yhteensä testattuja polymeerejä oli 35 useilta eri toimijoilta. Oletuksena oli, että kationiset polymeerit toimivat, anioniset ja nonioniset eivät. Tämä oletamus piti hyvin paikkansa. Kationiset polymeerit ovat tehokkaimpia jätevesilietteellä, koska niiden positiivinen varaus vetää puoleensa lietteen negatiivisesti varautuneita hiukkasia, edistäen flokkulaatiota. Kokeissa toimineet biopolymeerit toimivat yhtä hyvin kuin perinteiset polymeerit, vaikka usein niiden luullaan olevan heikompia. Kaikki testatut polymeerit eivät toimineet. Tietyillä polymeereillä tehtiin myös pienimuotoisia annoksen optimointitestejä. Taulukossa 2 yhteenveto onnistuneista polymeeriteistä.

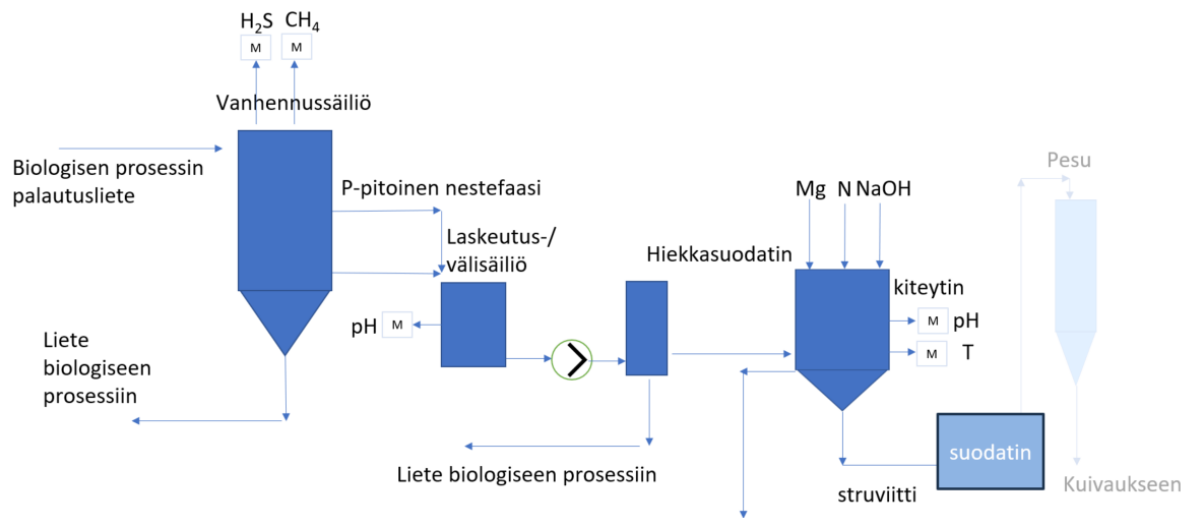
Taulukko 2. Testeissä toimineet perinteiset polymeerit ja biopolymeerit

Lietettä flokkuloineet ja laskeuttaneet polymeerit	Lietettä flokkuloineet ja laskeuttaneet biopolymeerit
Suproflocc BPS (Suprokem)	HTH 25 (Haarla)
Superflocc C492HMW (Kemira)	HA3 25 (Haarla)
Superflocc C496HMW (Kemira)	HC 25 (Haarla)
Superflocc C494HMW (Kemira)	kitosaani 5–20 mPa
FO 4290 SH (SNF Finland)	kitosaani 200–600 mPa
FO 4350 SH (SNF Finland)	
FO 4440 SH (SNF Finland)	
FO 4490 SH (SNF Finland)	
FINFLOC CX8030-20S (Vodanordic)	
DPS (Suprokem)	
FP6S (Suprokem)	
HPS (Suprokem)	
FO4125SH (SNF Finland)	
FO4140SH (SNF Finland)	
FO4190SH (SNF Finland)	

2.2.2 Struviitin kiteytys

Huittisten jätevedenpuhdistamon prosessia ajetaan osan vuodesta BioP-prosessina, jolloin fosfori sitoutuu mikrobien avulla jätevesilietteeseen ja fosforin saostuskemikaalin eli ferrosulfaatin, käyttö vältetään ajoittain lähes kokonaan. Kun fosfori on sitoutunut lietteeseen biologisesti, se on paremmin erotettavissa lietteestä ja hyödynnettävissä myöhemmässä vaiheessa esimerkiksi jatkojalostamalla lietteestä struviittia. Biologinen fosforin poisto vaatii enemmän allastilaa, joka BioP-ajon aikana lainataan yleensä typenpoistolta. Typenpoisto vaatii toimiakseen lämpöä, joten ilman viilentyessä kemikaaleja lisätään fosforin saostamiseksi, ja typenpoistolle saadaan enemmän allastilaa ilmastukseen.

Kuvassa 1 on esitetty struviitin kiteytyksen prosessikaavio. Struviittisakan pesulaitteisto oli alkuvaiheissa myös suunnitelmissa, mutta sitä ei pilot-laitteistossa toteutettu.



Kuva 1. Struviittikiteytyksen prosessikaavio Huittisten Puhdistamolla

Kuvassa 2 on esitetty panostoinen struviitin kiteytyksen pilot-laitteisto, jonka kilpailutuksen jälkeen suunnitteli Sweco Oy ja toteutti ETH Group Oy. Pilot-laitteistossa vasemmalla takana sijaitsee lietteen vanhennussäiliö, vasemmalla edessä IBC-kontti lietteen laskeutukseen (esimerkiksi biopolymerillä tai ilman), oikealla edessä hiekkasuodatin nestejakeen puhdistukseen ja oikealla takana kiteytin. Laitteistoon kuuluu myös kuvan ulkopuolinen painesuodatinlaitteisto (kuva 3), joka vuokrattiin erikseen myöhemmin.



Kuva 3. Grönmarkin painesuodatinlaitteisto



Kuva 2. Struviittikiteytyksen pilot-laitteisto

Struviitti on yhdiste, jossa fosforin, magnesiumin ja typen molisuhde on 1:1:1. Tämän vuoksi lietteen ortofosfaatin pitoisuus tuli määrittää, jotta magnesiumia ja typpeä osattiin lisätä tarvittavat määrät. Struviitin kiteytyminen tapahtuu tyypillisesti pH-alueella 8–10. Magnesiumkemikaalit nostavat pH:ta hieman luonnostaan, mutta lähes kaikkiin pilot-laitteistolla tehtyihin eriin lisättiin 50 %:sta lipeää pH:n nostamiseksi halutulle tasolle.

Pilot-laitteistolla toteutettiin yhteensä 11 koeajoa, joissa testattiin erilaisia polymeerejä sekä magnesiumin ja typen lähteitä. Osasta koeajoista ei saatu struviittisakkaa, sillä lietteen ortofosfaattipitoisuus oli struviittikiteytykseen liian matala. Yhteenveto onnistuneista koeajoista ja hyödynnetyistä kemikaaleista on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Toteutetut koeajot pilot-laitteistolla.

eränro	jae	polymeeri	magnesium		typpi		sakka
				Mg:P		N:P	
2023							
ERÄ1	1/4 palautuslietettä	-	Mg(OH) ₂	3,5	ammoniumsulfaatti	1,6	saatiin
2024							
ERÄ5	palautusliete	biopolymeeri	Mg(OH) ₂	2,5	ei typentärvettä	-	lietettä seassa
ERÄ6	palautusliete	Kemira 496	Mg(OH) ₂	2,5	ei typentärvettä	-	205 g, lietettä seassa
ERÄ7	palautusliete	Suprofloc DPS	MgSO ₄	1,7	ammoniumsulfaatti	2	115 g, suht puhdasta
ERÄ8	palautusliete	Suprofloc DPS	MgSO ₄	1,7	ammoniakki- vesi	2	92 g
ERÄ9	palautusliete	Suprofloc DPS	Mg(OH) ₂	1	ei typentärvettä	-	vajaa 100 g, suht puhdasta
ERÄ10	palautusliete	Suprofloc DPS	Mg-kakku (hienonnettu)	2	ei typentärvettä	-	rauta värjäsi, Mg ei liennut täysin
ERÄ11	palautusliete	Suprofloc DPS	MgO (karkea)	2	ei typentärvettä	-	suodatusaasteita, Mg ei liennut täysin

2.2.3 Elektrokoagulaatio

Elektrokoagulaatio, eli sähkökemiallinen saostus, on menetelmä, jossa saostava metalli-ioni liuotetaan anodielektrodilta. Elektrokoagulaatiossa korvataan siten saostuskemikaali kiinteällä metallilla. Sähkökemiallista saostusta kehitetään perinteisten alumiini- tai rautapohjaisten saostuskemikaalien korvaajaksi. Suomessa menetelmää ovat kehittäneet ainakin Outotec Oyj ja Kierto Ympäristöpalvelut Oy. Elektrokoagulaation edut verrattuna perinteiseen saostukseen ovat taloudellisuus (pienet investointi- ja käsittelykustannukset), ekologisuus, laitteistojen pieni koko ja helppo automatisoivuus, hajautetun käytön mahdollisuus sekä toimivuus kylmissä vesissä (Kuokkanen et al. 2013). (Huoltovarmuusorganisaatio 2020)

Viime aikojen struviitin elektrokoagulaatiotutkimusten mukaan fosforin maksimipoistotehokkuus on ollut 84–98 % ja typenpoistotehokkuus 79,4–94 %. Struviitin puhtaus oli tutkimuksissa 90–98,1 %. Virrantiheys, reaktioaika ja käsittelyn liuoksen molaarinen P:N-suhde ovat tärkeitä tekijöitä struviitin saostumisessa. Kemialliset analyysit ovat osoittaneet, että elektrokoagulaatioprosessissa muodostuva struviitti on laadultaan korkeatasoista, mutta sen vaikutusta kasvien tai muiden organismien kasvuun verrattuna kiteytettyyn struviittiin ei ole vielä tutkittu. (Rajaniemi 2021)

Hankkeessa teetettiin ostopalveluna Oulun yliopistolla laboratoriomittakaavan testit struviitin sähkökemiallisesta saostuksesta. Nestejakeena käytettiin samaa polymeerilaskeutetun ja hiekkasuodattetun palautuslietteen nestefaasia, mitä pilot-laitteistollakin käytettiin. Saadut tulokset on esitetty lyhyesti kappaleessa 3.

2.2.4 Lietteen vanhennus lisäaineilla

Vanhennusta voidaan nopeuttaa lisäämällä nopeasti käytettävissä olevaa orgaanista ainesta, esimerkiksi etikkahappoa tai sokeria. Lisäyksessä ajatuksena on saada kaksi fosfaatteja vapauttavaa mekanismia tapahtumaan: 1. orgaanisen aineen lisäyksellä BioP-bakteerit vapauttavat fosfaattia solunsisäisestä polyfosfaattivarastosta, 2. pH laskee lähelle 4,5–5 ja pH:n lasku vapauttaa kemiallisesti lietteeseen sitoutunutta fosfaattia. (Mikola 2023)

Hankkeessa palautuslietteen vanhennustesteissä käytettiin sokeria, melassia ja etikkahappoa. Kokeissa ei havaittu alun jälkeen merkittävää eroa eri lisäaineiden kesken. Lisäksi olisi voinut testata myös useampaa lisäystä ja miten ne olisivat vaikuttaneet ravinteiden vapautumiseen. Rajoitetun ajan ja resurssien vuoksi toista testausta ei kuitenkaan ehditty tehdä. Etikkahappolisäyksellinen liete laskeutui parhaiten ja melassilisäyksellinen huonoiten. Myös juurikasleikkeellä oli tarkoitus testata lietteenvanhennusta, mutta tätä ei toteutettu, koska sitä ei todellisessa prosessissa voi toteuttaa sen kiinteän orgaanisen aineksen suuren pitoisuuden takia.

2.2.5 Lietteen vanhentaminen ultraäänellä

Hankkeen aikana havaittiin, että struviitin valmistusta hidastava osuus on fosforin vapautumisen nopeus lietteessä olevilta PAO-bakteereilta. Bakteerit vaativat noin kaksi viikkoa hapettomissa oloissa, jotta ne luonnollisesti vapauttavat sitomansa fosforin lietteen nestefaasiin.

Hankkeen aikana tuli ilmi, että Ympäristöministeriö rahoitti osittain samanaikaisesti Virtain jätevedenpuhdistamolla toteutettavaa hanketta ”Pienestä puhdistamosta ravinteet irti (PIPPURI)”, jonka tavoitteena oli tutkia ultraäänien vaikutusta lietteenkäsittelyssä sekä lietteenkuivatuksen rejektiveiden ravinteiden talteenottoa struviittina. Ultraäänien teho lietteen käsittelyssä perustuu sen aiheuttamaan kavitaatioon, joka rikkoo lietteessä olevien partikkelien rakenteet. Näin myös PAO:t vapauttaisivat fosforin nestefaasiin. Tämä nopeuttaisi lietteen käsittelyä huomattavasti. (Naseri 2019)

Kirjallisuudessa esitettiin monenlaisia tuloksia ultraäänikäsittelyn optimaalisesta tehosta ja sonikointijästa. Tämän vuoksi tavoitteena oli toteuttaa useampi ultraäänikoeajo. Molempien hankkeiden aikataulu mahdollisti kolme koeajoa, jossa Huittisten puhdistamon lietettä kuljetettiin Virroille ja kierrätettiin ultraäänilaitteiston läpi. Keskeiset tulokset on esitetty kappaleessa 3.1.

2.3 Hankkeen viestintä

Toteutettujen hankesivujen, hankejulisteen ja Prizztechin omien viestintäkanavien lisäksi järjestettiin seuraavia tapahtumia ja viestinnän toimenpiteitä:

1. Hanketta ja aihetta yleisesti esittelevä webinaari "Kohti kestävämpiä ratkaisuja jätevesien käsittelyssä" järjestettiin 28.9.2023
2. Ympäristötoimittaja Jami Jokinen kirjoitti Satakunnan Kansa Länsi-Suomi –lehteen artikkelin "Onko tässä puhdistamon tuleva hittituote? Huittisissa mennään vahvasti valtavirtaa vastaan", joka julkaistiin 15.7.2024
3. Vesitalous-lehteen lähetettiin hanketta koskeva artikkeli "Fosforilannoitteen raaka-aineena jätevesi", joka julkaistiin 4.12.2024
4. Hankkeen puitteissa on osallistuttu aktiivisesti vesihuoltoalan konferenssiin, seminaareihin ja muihin tapahtumiin. Tilaisuuksissa on pyritty viestimään hankkeen kulusta ja toimenpiteistä sekä verkostoitumaan alan toimijoiden kanssa.
5. Aikataulusyistä hankkeen tuloksia esittelevä loppuwebinaari järjestetään vasta tammikuussa 2025

3. Hankkeen tulosten esittely

Lähes kaikki hankkeen tavoitteista toteutettiin suunnitelman mukaan tai hankkeen aikana parhaaksi havaitulla tavalla. Keskeisimpiä tavoitteita olivat pilot-laitteiston suunnittelu, hankinta ja koeajot, vaihtoehtoisten saostuskemikaalien ja biopolymeerien laboratoriotestit sekä ulkopuoliset selvitykset kiteytetyn struviitin sisältämistä haitta-aineista ja struviitin elektrokoagulaatiosta.

Hankkeen tavoitteeksi oli kirjattu fosforin saostaminen struviitiksi tai muuksi fosfaatiksi. Pilot-laitteisto struviitin kiteyttämiseen suunniteltiin ja rakennettiin toimimaan panosprosessina, sillä hankkeen aikana ymmärrettiin fosforin vapautumisen PAO-mikrobeista olevan aikaa vievä prosessi ja struviitin valmistusprosessia hidastava tekijä, joten prosessia ei voitu suunnitella tällä laitteistolla jatkuvatoimiseksi. Pilot-kokeista valmista struviittia saatiin huomattavasti vähemmän kuin ensimmäisten pullokokeiden perusteella arvioitiin. Struviittikiteet otettiin talteen suodatinlaitteistolla, joka toisaalta vaatii hyvin tiheän suodattimen, mutta toisaalta tukkeutui helposti lietteen sisältämien kiintoaineiden vuoksi. Myös palautuslietteen laadun vaihtelu vaikutti saadun nestejakeen fosforipitoisuuteen ja siten struviitin saantoon. Saatu struviitti oli kuitenkin puhdasta, eikä sisältänyt muita fosfaatteja ja alitti lannoitteille sallitut haitta-aineiden pitoisuudet.

Magnesiumsivuvirtojen hyödyntäminen havaittiin ongelmalliseksi, sillä ne eivät haitta-ainepitoisuuksien tai muiden ominaisuuksiensa vuoksi sopineet tasalaatuisuutta vaativan lannoitteen tuotantoon. Muun muassa magnesiumhydroksidia käyttävän voimalaitoksen savukaasupesurisakassa olisi ollut potentiaalia käyttää sitä magnesiumin lähteenä, mutta koska sakka ei täyttänyt kaatopaikkakelpoisuuden vaatimuksia, sitä ei haluttu käyttää.

Lietejakeeseen jäävän fosforin hyödyntämistä muutoin hankkeessa ei tarkasteltu, sillä kriittisempää oli etsiä ratkaisuja lietteen vanhentamiseen. Struviitin valmistusta biokaasulaitoksen lietteestä tai rejektistä ei ehditty aikataulusyistä testaamaan pilot-laitteistolla, mutta aihe on mielenkiintoinen, ja koeajoja biokaasulaitoksen rejektillä pyritään järjestämään alkaneessa BioStruvi-hankkeessa.

3.1 Kokeilujen tulokset

Sähkökemiallisissa saostuskokeissa Oulun yliopistolla fosfaatti-ioni väheni nestefaasista 90–99 %:sti koeolosuhteista vaihdellen. Nämä tulokset ovat samansuuntaisia kuin Huittisten puhdistamon pilot-kokeissa saadut ortofosfaatin vähenemät. Moolisuhteet Oulun yliopiston testeissä olivat Mg:P 1:1 tai 1,6:1. Lähes puhdasta struviittisakkaa (96,6–100 % struviittia) saatiin noin 0,5 g/L nestettä.

Virroilla toteutettiin kolme koeajoerää. Ensimmäinen ja toinen erä käytettiin ultraäänilaitteen sopivan tehon etsintään. Liian suurella teholla lietteessä olevat partikkelit hajoavat liikaa, jolloin lietteestä ei erotu selkeää kiintoaine- ja nestefaasia ja hajonnut COD häiritsee ravinteiden mittaamista. Kolmannen koeajon perusteella ultraäänilaitteen 20–40 kHz käsittelytaajuus, 400 W teho ja muutamman minuutin (1–7,5 min) kierrätysajalla, PAO-mikrobit alkavat vapauttaa fosforia vesifaasiin nopeammin. Verrattuna käsittelemättömään lietteeseen, heti ultraäänikäsitteilyn jälkeen vesifaasissa oli 2-kertainen määrä fosforia (noin 80 mg/l) ja lietteen vanhentuessa joitakin päiviä lisää noin 1,5-kertaisesti (220 mg/l). Ultraäänikäsitteilyssä on siis selkeästi potentiaalia lietteen vanhentamiseen. Tutkimuksia optimaalisen tehon ja kierrätysajan löytämiseksi jatketaan BioStruvi -hankkeessa, mikäli ultraäänilaitteistoa päästään hyödyntämään.

Struviittikiteytyksen pilot-kokeisiin kuuluvan vanhentamisen eli fosforin vapautumisen toimivuus vaihteli, koska palautuslietteen sakeus ja fosforipitoisuus vaihtelee BioP-prosessin mukaan. Pilot-kokeita aloiteltaessa kesällä, liete on laihempaa kuin prosessia lopeteltaessa loppusyksystä. Tämä vaikutti pilot-laitteistolla kiteytetyn struviitin puhtauden lisäksi myös polymeeritestaukseen.

3.1.1 Keskeiset tulokset struviittikokeista

Ennen pilot-mittakaavan kokeita tehtiin saavikokeita, joissa ortofosfaatti väheni nestejakeesta keskimääräisesti 95,4 % ja kokonaistyyppi 77,1 %. Näistä saavikokeista saaduista sakoista minkään haitallisen aineen pitoisuus ei ylittänyt kansallisen lannoitelainsäädännön asettamia enimmäispitoisuuksia. Näistä saaduista sakoista kahta erää (magnesiumhydroksidilla ja magnesiumsulfaatilla saostettu) analysoitiin tarkemmin ja niistä toteutettiin haitta-aineanalyysi. Molemmista sakoista löytyi hieman haitta-aineita.

Pilot-kokeissa ortofosfaatti väheni nestejakeesta keskimäärin 91,9 % ja kokonaistyyppi 36,3 %. Kokonaistyyppi väheni pilot-kokeissa pienimuotoisempia saavikokeita vähemmän luultavasti siksi, että tyypeä lisättiin ylimäärin (1,6–2-kertaisesti fosforiin nähden) ja saavikokeissa tyypeä lisättiin 1,01-suhteella fosforiin nähden.

Struviittisakkoihin puhdasta struviittia muodostui 65,5–96,8 % riippuen käytetystä magnesiumin lähteestä. Magnesiumin lähteenä magnesiumhydroksidin ja magnesiumsulfaatin välillä saostajana ei ollut oleellisia eroja. Kiertotalousmagnesiumlähteillä struviitin osuus sakasta oli pienempi. Loppu sakasta oli lähinnä reagoimatonta magnesiumlähdettä ja hiiltä (eli lietteen jäämiä). (Taulukko 4)

Taulukko4. Pilot-laitteiston analysoitujen erien struviitti- ja hiilipitoisuudet, sekä muita asiaan liittyviä huomioita. Eniten struviittia suhteessa sakkaan saatiin erästä 9, jolla Mg:P suhde oli 1, tyypeä ei liittänyt ja pH oli reilu 8 (eli magnesiumhydroksidia ei jäänyt sakkaan ylimäärin).

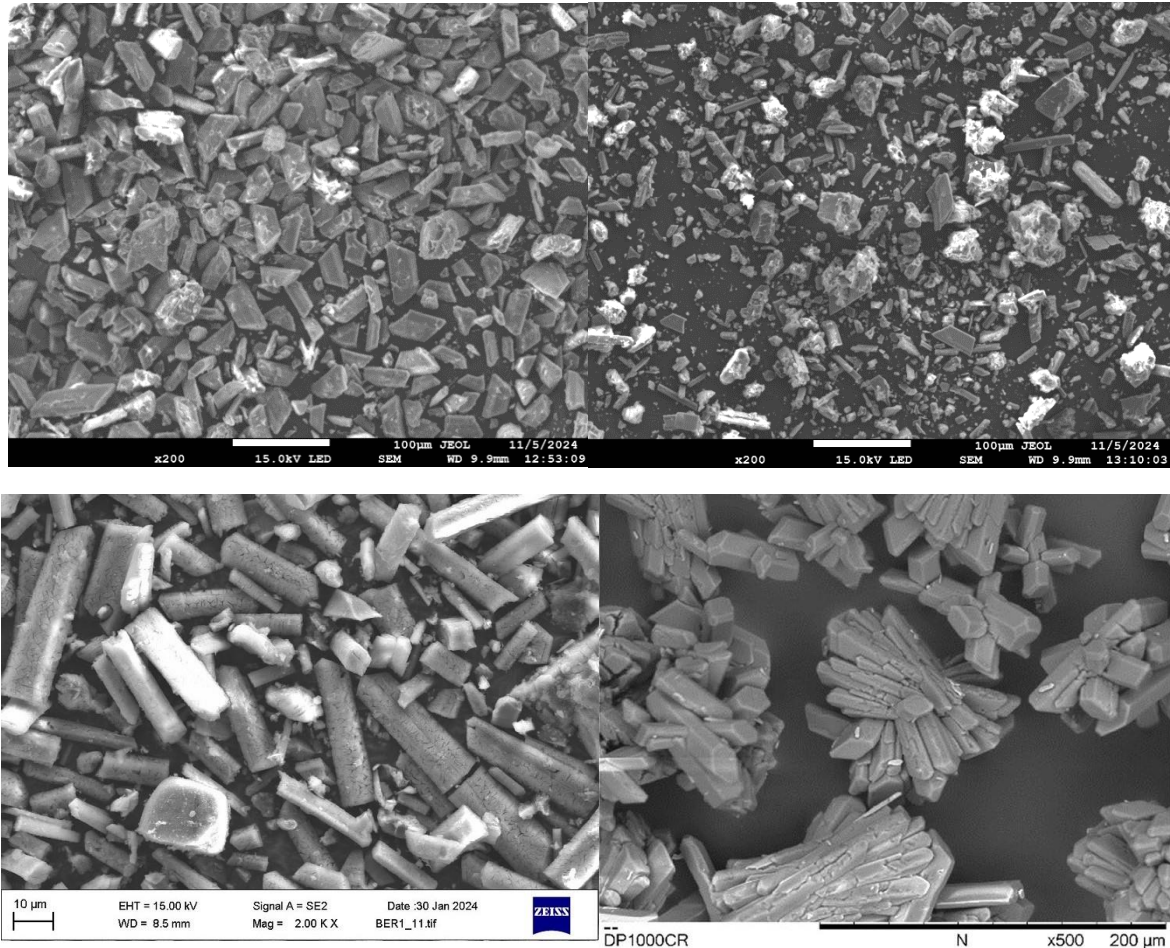
Erä	Mg-lähde	Mg:P	typen lähde	N:P	struviittia (XRF)	Mg(OH) ₂ (XRD)	hiiltä (alkuai-neanalyysi)	HUOM
1	Mg(OH) ₂	3,5	amm.sulf	1,6	94,32 %	5,80 %	3,50 %	
6	Mg(OH) ₂	2,5	-		94,49 %	6,10 %	4,56 %	
7	MgSO ₄	1,7	amm.sulf	2	96,62 %		1,14 %	
8	MgSO ₄	1,7	amm.vesi	2	95,77 %		2,89 %	
9	Mg(OH) ₂	1	-		96,76 %		1,34 %	
10	Mg-kakku	2	-		65,51 %		5,44 %	rikkiä 3,3 %, useita analysoimattomia yhdisteitä sisältäen mm. piitä, rautaa, kalsiumia ja rikkiä
11	MgO (karkea)	2	-		83,04 %		8,30 %	useita analysoimattomia yhdisteitä sisältäen mm. piitä, rautaa, kalsiumia ja rikkiä

Taulukossa 5 on esitetty haitta-aineiden pitoisuuksia verrattuna MMM:n lannoiteasetuksen raja-arvoihin. Muut pitoisuudet ovat alle enimmäispitoisuuksien ja nikkelin pitoisuus oli ainoa, joka ylittyi yhdessä erässä. Tämä johtui todennäköisesti laitteiston hitsaussaumoista, joista käytön alkuvaiheessa on liuennut nikkeliä. Nikkelin vapautumista ei tapahtunut enää seuraavissa koeajoissa. (Taulukko 5)

Taulukko 5. Toisella rivillä on esitetty MMM:n asetuksen lannoitevalmisteista 964/2023 luokan 1C1. Epäorgaaniset pääravinnelannoitteet haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet. Muilla riveillä on esitetty pilot-kokeiden eristä analysoitujen struviittinäytteiden pitoisuudet.

Haitalliset aineet	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta	40	1	1,5	300	600	100	70	1500
Erä1	0,806	ei mitattu	0,039	220	17,3	0,582	148	17,5
Erä6	1,08	0,07	0,07	5,27	41,6	4,36	0,96	61,3
Erä7	0,34	<0,04	0,02	2,25	11	2,04	0,31	16,8
Erä8	0,8	<0,04	0,04	2,54	22,8	2,03	0,5	31,9

Eristä teetettiin myös pyyhkäisyelektronimikroskooppikuvia. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkikuvat kahdesta eri magnesiumin lähteellä saostetusta erästä, magnesiumhydroksidilla saostetusta sakasta ja Berner Chemicalsin tehtaan kiertotaloussakalla saostetusta.



Kuva 3. Vasemmalla ylhäällä SEM (pyyhkäisyelektronimikroskooppi) -kuva erä 9:stä ja oikealla ylhäällä erä 10 samansuuruisesta suurenoksesta. Erä 9 saostettiin magnesiumhydroksidilla ja erä 10 Berner Chemicalsin tehtaan kiertotaloussakalla. Erä 9 oli 96,8 %:sti struviittia, erä 10 oli 65,5 %:sti struviittia. Alakuvassa on esitetty Erä 1 (MgOH:lla saostettu, 94,3 % struviittia) ja vertailun vuoksi kirjallisuudesta saatu kuva struviittikiteistä (Bianchi et al. 2020).

3.1.2 Pilot-kokeiden struviittisakkojen laajemman haitta-aineanalyysin tulokset

Struviittisakoille teetettiin haitta-aineanalyysit. Haitta-aineita analysoitiin laajasti, mm. palontorjunta-aineiden, lääkeaineiden ja hormonien osalta. Haitta-aineanalyysissä tutkittiin kahta pilot-laitteistolla kiteytettyä struviittierää. Toinen oli saostettu käyttäen magnesiuminlähteenä magnesiumhydroksidia ja toinen magnesiumsulfaattia. Molemmista näytteistä löytyi useita per- ja polyfluorat-

tuja alkyyli (PFAS)-yhdisteitä matalissa pitoisuuksissa. Paljon muitakin aineita tutkittiin, mm. lääkeaineista diklofenaakkia löytyi molemmista näytteistä, mutta ibuprofeenia ei kummassakaan. Hormonijäämiä löytyi magnesiumhydroksidilla saostetusta näytteestä.

Molemmista näytteistä löytyi pieniä määriä glyfosaattia. Molemmista näytteistä löytyi myös aminometyylifosfonihappoa (AMPA) ja di(2-etyyliheksyyli)ftalaattia (DEHP). AMPA on glyfosaatin hajoamistuote. Sen hajoaminen on hidasta, mutta se on vähemmän myrkyllinen kuin glyfosaatti. DEHP taas on muovien pehmitin, joka toimii ympäristöön päästyään hormonitoimintaa häiritsevänä aineena ja voi kertyä ravintoketjuihin. Saadut struviittisakat sisälsivät vain vähäisiä määriä haitta-aineita, osa jopa alle lannoitteiden tyypillisten määritysrajojen.

3.2 Yhteenveto ja raportti

Perinteiseen kemialliseen jätevedenpuhdistukseen verrattuna biologinen puhdistusprosessi vähentää kemikaalien käyttöä ja kustannuksia sekä poistaa erityisen tehokkaasti typpeä. Vaikka fosforin poistoteho on usein hieman heikompi, Bio-P prosessin lietteeseen bakteereihin sitoutunut fosfori on huomattavasti helpompi saada talteen ja hyötykäyttöön kierrätyslannoitteena kuin kemiallisesti rautaan tai alumiiniin sitoutunut fosfori. Biologinen prosessi on herkempi olosuhteiden vaihteluille ja vaatii enemmän allastilaa ilmastukseen tehokkaan fosforin ja typen poiston varmistamiseksi.

Nykyisessä globaalissa tilanteessa, jossa ravinnon ja viljelymaan saatavuudesta on jatkuvasti suurempi pula ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun myötä, ruuantuotannon on oltava tehokasta ja kestävä. Louhittavien mineraalien ehtyessä kierrätysravinteiden laajamittainen tuotanto ja hyödyntäminen tulevat entistä ajankohtaisemmaksi. Jo nykyään ravinteista erityisesti fosforia otetaan talteen jätevedenpuhdistuksen yhteydessä esimerkiksi Euroopassa, Pohjois-Amerikassa sekä Aasiassa, struviitin saostuksen lietteestä ollessa yksi käytetyimmistä tekniikoista.

Palautuslietteen kokonaisfosforista saatiin pilot-laitteistolla keskimääräisesti talteen 22 %, mikä on samaa luokkaa kuin kirjallisuudesta löydetty referenssit. Kaupallisilla struviitin talteenottomenetelmillä (muun muassa Pearl, DHV, PRISA, Struvia, RePhos, PhosPac, eco:P, PhosphoGreen) jätevedenpuhdistamolle tulevasta fosforista on mahdollista saada talteen 10–25 % (Lehtoranta et al. 2021). Hankkeessa aloitettiin massavirtamallinnusta Huittisten Puhdistamon fosforivirroista, ja mallinnusta jatketaan alkaneessa BioStruvi hankkeessa.

Huittisissa BioP:n ollessa käynnissä lietteen ortofosfaattipitoisuudeksi (fosfaattifosforina) on mitattu noin 85–265 mg/l. 1000 litran koeajonerästä teoreettinen maksimi struviitin saannolle on noin 634–2100 g. Koko laitoksen vuorokauden palautuslietemäärästä (100 m³) voitaisiin teoriassa saada saostettua 63,4–210 kg struviittia / vrk. BioP-prosessin ollessa käynnissä puoli vuotta vuodesta struviittia saataisiin 11,5–38,2 t. (Taulukko 6) Tämä edellyttäisi, että struviitinkiteytysprosessi olisi jatkuvatoiminen ja vanhennus ei hidastaisi prosessia. Panostoimisesti toimivassa laitteistossa voisi taas olla useampi vanhennus- ja kiteytyskäsittely, mikä lisäisi saantoa. Saatavan struviitin määrä riippuu

paljolti BioP-prosessin toimivuudesta ja lietteen sisältämästä vanhennuksen jälkeisestä ortofosfaattipitoisuudesta, sekä vanhennuksen toteutuksesta.

Taulukko6. Palautuslietteen ortofosfaatin määrän vaihtelujen mukaan saatava struviitin teoreettinen määrä Huittisten Puhdistamolla ja tarvittava magnesiumin lähteen teoreettinen määrä (magnesiumhydroksidi tai magnesiumsulfaatti) jatkuvatoimisessa prosessissa. Palautuslietemäärä on 100 m³/vrk.

	mg/l	kg/vrk	t/0,5a
Mg(OH) ₂ (53%)	300	30	5,5
	940	94	17,1
MgSO ₄ (24%)	1376	137,6	25,0
	4291	429,1	78,1
ortofosfaatti (fosfaattifosforina)	85	8,5	1,5
	265	26,5	4,8
struviitti	634	63,4	11,5
	2100	210	38,2

Koeajoissa kaikki nestejakeen ortofosfaatti ei kiteytynyt struviitiksi eikä laitteiston suodatuksella saatu vielä talteen kaikkea muodostunutta struviittia. Pilot-koeajoissa saadut määrät olivat merkittävästi pienempiä kuin teoreettinen tarkastelu, johtuen palautuslietteen fosforipitoisuuden vaihtelusta ja suodatuksen kanssa olleista haasteista, joita pyritään ratkomaan BioStruvi-hankkeessa. Struviitin valmistuksen taloudellisuutta rajoittavat tekijät ovat lietteen vanhenemisen ja kiteiden muodostumisen vaatima aika, minkä takia struviittia valmistetaan Huittisten Puhdistamolla pilot-laitteistolla vielä panostyypillisesti. Struviitin valmistuksen kannattavuuden parantamiseksi prosessia tulisi kehittää jatkuvatoimiseksi tai panostyypillisiä yksikköjä pitäisi olla useita.

Pilot-laitteisto toteutettiin panostoimisena prosessina, jossa oli säätötaulu eri laitteiden päälle kytkemiseen ja pH:n seuraamiseen, mutta ei esimerkiksi automaattista lisäaineiden syöttöä. Pilot-laitteisto vaati paljon käsin operointia, vaikka esimerkiksi nestejakeen ja struviitin erottamiseen oli vuokrattu painesuodatuslaitteisto. Lisäkehitysideoita syntyi, kun laitteisto oli jo käytössä. Polymeerin laskeutuskontissa esimerkiksi olisi voinut olla sileäpintainen, korkea ja helposti pestävä ikkuna, josta lietteen laskeutumisen onnistumista olisi helpommin voinut seurata.

Struviitin valmistus jätevedenpuhdistamon lietteestä on globaalisti todettu toimivaksi ja taloudellisesti kannattavaksi. Tässä hankkeessa pilot-laitteistolla tehdyt kokeet ovat osoittaneet Huittisten puhdistamon lietteen omaavan potentiaalia ravinteiden talteenottoon ja palautuslietteen struviittikiteytykseen.

Hankkeessa syntyi paljon dataa, joka koostetaan erilliseksi, tuloksia tarkemmin esitteleväksi raportiksi. Hankkeen raportti tuloksineen ja liitteineen löytyy hankkeen [nettisivuilta](#).

4. Hankkeen vaikutukset

Struviitin valmistuksen kehittäminen taloudelliseksi ja pääsy osaksi lannoitemarkkinoita Suomessa synnyttää uutta liiketoimintaa. Struviitin on oltava hinnaltaan kilpailukykyinen, toimitusketjun varma sekä laadultaan tasainen ja turvallinen. Kehitystyötä vaaditaan kotimaisen struviitin markkinoille saamiseksi.

Hankkeessa tarkasteltiin BioP-prosessin etuja verrattuna perinteiseen kemikaalisaostusprosessiin. BioP-prosessissa fosfori sitoutuu lietteeseen ilman kemikaaleja, joten kemikaalikustannukset jätevesilaitoksella vähenevät. Rautakemikaalien käytön vähentäminen keventää lietettä ja siten vähentää lietteen käsittelyn energia- ja kuljetuskustannuksia jätevesilaitoksella ja biokaasulaitoksella. Struviitin valmistuksen kytkentä BioP-prosessiin vähentää myös typen poistamisen kustannuksia, koska myös typpi sitoutuu struviittiin. Kun biokaasuprosessiin ei lietteen mukana tule rautayhdisteitä todennäköisesti orgaanisen aineen mädätysprosessi ja biokaasun tuotanto tehostuu. BioP-prosessin käyttöönotto Huittisten Puhdistamolla ei ole vaatinut suuria investointeja. BioP toimii osan vuodesta ja talvisaikaan kemikaalit voidaan ottaa käyttöön normaalisti eli laitos toimii hybridinä. BioP-proessin ympärivuotista käyttöä Huittisten Puhdistamolla selvitetään BioStruvi-hankkeessa.

Uuden liiketoiminnan syntyminen haasteena on Bio-P jätevedenpuhdistusprosessin harvinaisuus Suomessa sekä sen toimivuus vain osan vuodesta. Fosforin saostuskemikaaleja lisätään noin marras-huhtikuun välillä, sillä biologisen fosforinpoiston allastarve aiheuttaa haasteita typenpoistossa, joka vaatii toimiakseen noin +10 °C lämpötilan. Talviaikaan siis typenpoisto vaatii enemmän allastilaa sopivan lämpötilan ylläpitämiseen, joten biologinen fosforinpoisto täytyy tauottaa. Tulevaisuudessa asia tulisi ottaa paremmin huomioon uusia laitoksia suunniteltaessa ja vanhoja saneerattaessa. Myös BioP-prosessin osittaista käyttöönottoa tulisi tarkastella laajemmin Suomen jätevesilaitoksilla.

Hankkeessa selvitettiin biopolymeerien käyttöä fosforin saostuskemikaalina ja lietteen laskeutuskemikaalina, sillä nykyisin jätevedenpuhdistus on hyvin riippuvaista fossiilisista kemikaaleista. Osa testatuista biopolymeereistä näyttivät toimivan pilot-laitteistossa lietteen laskeutuksessa. Niiden käyttöä kuitenkin rajoittaa se, että ne ovat olleet markkinoilla suhteellisen vähän aikaa eivätkä ne ole pitkään kokeiltua tekniikkaa. Niiden hinta on vielä suhteellisen korkea verrattuna perinteisiin polymeereihin.

Hankkeessa testattiin myös erilaisia magnesiumin lähteitä, joista osa oli paikallisen teollisuuden sivuvirtoja. Myös lietteen vanhennuksessa käytettiin sokerin valmistuksen sivuvirtaa. Sivuvirtojen tehokas hyödyntäminen edistää omalta osaltaan kiertotalouden periaatteita sekä edistää huoltovarmuutta.

Hankkeen lopulliset työllisyysvaikutukset selviävät tarkemmin lähitulevaisuudessa. Hanke itsessään työllisti hankehenkilökunnan ja tulevaisuudessa, jos pilottilaitteistoa kehitetään, saattaa sen ope-

rointi työllistää jätevedenpuhdistamolla tai käynnistää uutta liiketoimintaa lietteen käsittelyyn puhdistamon yhteyteen. Hankkeen myötä käynnistyi BioStruvi-hanke, joka työllistää edelleen hankehenkilökuntaa ja mahdollisesti myös puhdistamon henkilökuntaa.

Hankkeen laajemmat työllisyysvaikutukset ovat todennäköisesti positiiviset ja kiinnostus aihetta kohtaan näkyy yritysten panostuksena tutkimus- ja kehityshankkeisiin. Näillä hankkeen inspiroimilla kehityshankkeilla olisi positiivisia työllisyys- ja liiketoimintamahdollisuuksia ja ne voisivat lähitulevaisuudessa synnyttää uusia työpaikkoja kierrätyslannoitteiden valmistuksen parissa.

Hankkeen DNSH-arviointi on toteutunut hankkeessa kaikilta osin. Hankkeen toimenpiteillä ei ole havaittu olevan negatiivisia ympäristövaikutuksia.

5. Talousraportti

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 318 955 euroa, josta ympäristöministeriön avustuksen osuus oli 70 % eli 223 268,5 euroa. Alla olevassa taulukossa 7 on esitetty yhteenveto hankkeen toteutuneista kokonaiskustannuksista alkuperäiseen rahoitussuunnitelmaan nähden.

Taulukko 7. Yhteenveto hankkeen kustannusarvion toteutumisesta

Kustannuseuranta tilanteesta	17.12.2024	17.12.2024/ar		
Fosforin talteenotto ja hyödynnettävyys BioP-jätevesiprosessista/BioP-Rec				
Kustannus- / Palkkamalli	Tuki %	Toteutusaika	Flatrate	Kustannuspaikka
Tosiasialliset	70 %	1.9.2022- 31.12.2024	-	3250
Menolaji	Toteutunut	Budjetti	Jäljellä	
Henkilöstökulut	144 857,46 €	157 626,00 €	12 768,54 €	
Ostopalvelut	117 503,75 €	127 954,00 €	10 450,25 €	
Matkat	6 369,22 €	6 000,00 €	- 369,22 €	
Muut kulut	16 567,28 €	27 375,00 €	10 807,72 €	
YHTEENSÄ	285 297,71 €	318 955,00 €	33 657,29 €	

Kokonaisbudjetista toteutui 285 297,72 eur ja käyttämättä jäi 33 657,29 euroa. Henkilöstöbudjetista toteutui 144 857,46 euroa ja käyttämättä jäi 12 768,54 euroa. Henkilöstökulujen määrää oli haasta-

vaa arvioida hanketta suunnitellessa, koska koeajoja voitiin toteuttaa vain osan vuodesta BioP-prosessin ollessa ajossa Huittisten jätevesilaitoksella. Toisaalta myös koeajolaitteiston kustannuksia oli haastavaa arvioida, koska tämän tyyppisestä laitteistosta ei ollut valmista suunnitelmaa. Tämän vuoksi hankkeen alkuperäisestä budjetista laitteiden ja ostopalveluiden osuus kulutettiin loppuun kuten suunniteltiin, mutta koeajojen käyntinajovaiheessa ja varsinaisten tuloksia tuoneen koeajojen edistyttyä, havaittiin, että laitteistossa oli vielä kehitystarpeita. Myös koeajojen määrää oli tarpeen lisätä suunnitellusta ja sitä myöskin myös analyysitarpeita tuli lisää. Matkakustannusten osuus ylittyi hieman. Tämä johtui siitä, että Virtojen jätevesilaitoksen ultraäänikoeajolaitteistolle tehtiin yksi matka yli suunnitellun. Muut kulut sisältävät muut yleiskustannukset kuin matkat. Koska palkkojen osuus pieneni budjettimuutoksen myötä, myös muiden kulujen toteutuma jäi budjetista. Toteuma oli 16 567,28 ja käyttämättä jäi 10 807,72 euroa.

Helmikuussa hankkeeseen tehtiin muutoshakemus hankkeen budjettiin siten, että palkoista siirrettiin 37 455 eur asiantuntijapalveluihin, laitteisiin ja matkoihin. Haetut muutokset eivät vaikuttaneet hankkeen kokonaisbudjettiin ja muutoshakemus hyväksyttiin. Muutoksen avulla hankkeen toimenpiteet ja tavoitteet voitiin paremmin saavuttaa.

6. Yhteenveto

Hankkeen toimenpiteillä kehitettiin pilot-mittakaavainen menetelmä fosforin saostamiseen biologisen jätevedenpuhdistuksen prosessilietteestä struviitiksi. Ravinteiden talteenotolla edistetään kiertotalousperiaatteiden mukaista liiketoimintaa, vaikutetaan vesistöjen suojeluun lannoittamalla hiitaasti ravinteet vapauttavilla lannoitteilla sekä vähennetään tarvetta neitseellisten ravinteiden kuten fosforin louhinnalle. Lannoitteiden huoltovarmuuteen on viime vuosien aikana tullut tarvetta lisätä sen kotimaisuusastetta ja kierrätettävyyttä. Struviitin teollisella valmistuksella voitaisiin lisätä kotimaisen kierrätyslannoitteen markkinaosuutta ja vähentää neitseellisten lannoitteiden osuutta.

Hankkeen keskeinen tulos on, että suhteellisen puhdasta struviittia saatiin kiteytettyä pilot-laitteistolla jätevesilaitoksen palautuslietteestä. Samalla palautuslietteellä teetettiin myös pilot-mittakaavan sähkökemiallinen saostus. Struviitin kiteytys on mahdollista sekä sähkökemiallisesti että perinteisemmällä tavalla pilot-mittakaavassa jätevedenpuhdistamon palautuslietteestä. Tällä toteutuksella päästään struviittisovelluksille tyypilliseen keskimääräiseen 22 % saantoon palautuslietteen kokonaisfosforista. Näillä menetelmillä saatu struviittisakka on melko haitta-aineetonta ja struviitin määrä sakasta on puhtailla magnesiumituotteilla saostetulla sakalla ja sähkökemiallisen saostuksen magnesiumielektrodilla korkea. Struviittikiteytyksen hidasta vaihetta, palautuslietteen ravinteiden vapautumista, voidaan nopeuttaa ultraäänellä ja orgaanisilla lisäaineilla. Hankkeen päätavoitteet saavutettiin ja hankkeesta viestittiin webinaareissa, paikallisessa sanomalehdessä, Vesitalous-lehdessä ja Prizztechin viestintäkanavilla ja -verkostoissa.

Hankkeen tulokset herättivät lisäkysymyksiä ja tarvetta kehittää pilot-laitteistoa, jonka johdosta haettiin rahoitus aiheeseen liittyvään uuteen hankkeeseen, BioStruvi. Tavoitteena on kehittää prosessia edelleen BioStruvi-hankkeessa. BioStruvi-hanke työllistää hankehenkilökuntaa sekä mahdollistaa

pilot-laitteiston jatkokäytön sekä jätevesilietteen että biokaasulaitoksen rejektin sisältämien ravinteiden talteenotossa.

LÄHTEET

Bianchi L., Kirwan K., Alibardi L., Pidou M. ja Coles S.R. 2020. Recovery of ammonia from wastewater through chemical precipitation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Volume 142, s. 1303-1314.

Cooper J., Lombardi R., Boardman D. ja Carliell-Marguet C. 2011. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 57, pp. 78–86. Doi: 10.1016/j.resconrec.2011.09.009.

Huoltovarmuusorganisaatio 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. SBN 978-952-5608-72-4

Kuokkanen V., Kuokkanen T., Rämö J. & Lassi U. 2013. Recent applications of electrocoagulation in treatment of water and wastewater – A review. *Green and Sustainable Chemistry* 3, 89–121.

Lehtoranta S., Malila R., Fjäder P., Laukka V., Mustajoki J., Äystö L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. Suomen ympäristökeskus

Lemola R., Uusitalo R., Luostarinen S., Tampio E., Laakso J., Lehtonen E., Skyttä Annaliina ja Turtola E. 2023. Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s.

Mikola A. 2023. Sähköpostikeskustelu 24.10.2023. Aalto-yliopisto

Naseri N. 2019. Sonokemian käyttö jäteveden puhdistuksessa. Opinnäytetyö, Bio- ja kemiantekniikka. Metropolia AMK.

Negrea A., Lupa L., Negrea P., Ciopec P. ja Muntean C. 2010. Simultaneous Removal of Ammonium and Phosphate Ions from Wastewaters and Characterization of the resulting Product. *Chemical Bulletin of Politechnica University of Timisoara*. Vol. 55, nro 2, pp. 136-142.

Rajaniemi K. 2021. Electrocoagulation sludge valorization – a review. *Resources* 2021, 10, 127.