

Prizztech Oy

BioStruvi - Biologisen fosforin- poiston ja struviittikiteytyksen ke- hittäminen 1.10.2024 – 30.11.2025

Iiris Puhakka, Julia Pihlavisto-Hakala, Pirjo Taube

LOPPURAPORTTI

Diaarinumero VN/19603/2024

RAHOITUSLÄHDE: YMPÄRISTÖMINISTERIÖ

TIIVISTELMÄ

BioStruvi-hankkeessa Prizztech jatkoi ravinteiden talteenoton kehittämistä keskittymällä struviitin valmistukseen Bio-P-prosessia käyttävien jätevedenpuhdistamoiden lietteestä. Struviitti (magnesium-ammoniumfosfaatti) on hidasliukoinen lannoite, joka sitoo typpeä, fosforia ja magnesiumia pysyvään kiteiseen muotoon. Kansainvälisesti struviittia hyödynnetään laajasti erilaisista sivuvirroista, mutta Suomessa sen tuotanto ja käyttö ovat vielä vähäisiä. Hankkeen tavoitteena oli parantaa Huittisten puhdistamolla sijaitsevan pilot-mitakaavan struviittilaitteiston toimivuutta ja selvittää, miten sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti Bio-P-lietteen sisältämien ravinteiden talteenotossa.

Hankkeessa tarkasteltiin biologisen fosforinpoiston (Bio-P) toimivuutta jätevedenpuhdistamoilla Suomen olosuhteissa sekä menetelmiä, joilla polyfosfaattia varastoivien mikrobien (PAO) sisältämät ravinteet voidaan vapauttaa liukoiseen muotoon ennen struviittisaostusta. Lisäksi arvioitiin struviitin valmistuksen käytettävyyttä ja teoreettista fosforin talteenoton määrää suhteessa puhdistamolle tulevaan fosforikuormaan.

Koeajoissa hyödynnettiin aiemmassa BioP-Rec hankkeessa rakennettua struviitin valmistuksen pilot-laitteistoa, jonka toimintaa prosessia kehitettiin sekä reaktori- että ohjaustasolla. Laitteistolla valmistettiin struviittia kahdesta raaka-ainevirrasta: Bio-P-lietteestä ja happamasta herasta, mikä mahdollisti saostuneiden kiteiden koostumuksen ja puhtauden vertailun. Syntyneitä sakkoja analysoitiin useilla menetelmillä (mm. XRD, XRF ja alkuaineanalyysit), ja niiden struviittipitoisuudessa havaittiin merkittäviä eroja raaka-aineen mukaan. Haitta-aineita ei havaittu merkittävässä pitoisuuksissa yhdessä näytteessä. Lisäksi kokeiltiin sekä neutraalisia että kiertotalousperäisiä magnesiumlähteitä ja tutkittiin eri polymeerien soveltuvuutta pääraaka-ainevirran selkeyttämiseen laboratoriomittakaavassa. Hankkeessa havaittiin, että struviitin valmistusta pilot-laitteistolla rajoitti hidas fosforin vapautuminen, prosessin panostoimivuus sekä haastavat erotusprosessit.

Hankkeen tulokset osoittavat, että struviitin valmistus jätevedenpuhdistamoiden sivuvirroista on teknisesti toteutettavissa ja voi tuottaa laadultaan tasaisempaa ja puhtaampaa lannoitetta kuin monet lietepohjaiset kierrätyslannoitteet. Struviitin käyttö lannoitteena tukee ravinteiden kiertoa ja voi korvata energiaintensiivisesti valmistettuja mineraalilannoitteita, mikä vähentää sekä valmistuksen että maatalouskäytön ympäristövaikutuksia. Hankkeen tuloksia tullaan käyttämään Prizztechin seuraavassa Struviks hankkeessa, jossa kehitetään prosessin nopeuttamista, struviitin laadun parantamista ja selvitetään teknistaloudellista kannattavuutta sekä struviitin markkinakelpoisuutta.

Hankkeen viestinnällä lisättiin tietoisuutta kierrätysravinteiden mahdollisuuksista ja kannustettiin alan toimijoita kehittämään struviittiin perustuvia ratkaisuja edelleen. Hanke edistää kansallisia ravinteiden kierron tavoitteita, EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelmaa ja kotimaista lannoiteomavaraisuutta.

Sisällysluettelo

1.	Hankkeen tausta ja tavoitteet	3
2.	Hankkeen toteutus	4
2.1	Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu.....	4
2.2	Muutokset.....	5
2.3	Hankkeen kokeilut ja niiden tulokset.....	6
2.3.1	Struviitin kiteytyskokeet	6
2.3.2	Laboratoriokokeet muilla sivujakeilla	13
2.3.3	Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttamisen nopeutus	14
2.3.4	Magnesiumhydroksidin lisäämisen vaikutus biokaasulaitoksella.....	15
2.4	Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta	16
2.5	Hankkeen viestintä.....	17
3.	Hankkeen tulokset.....	18
4.	Hankkeen vaikutukset	19
5.	Talousraportti.....	21
6.	Yhteenveto	22

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Hankkeen nimi on "Biologisen fosforinpoiston ja struviittikiteytyksen kehittäminen (BioStruvi)". Toimeksiantajana toimi Prizztech Oy ja projektipäällikkönä Iiris Puhakka. Asiantuntijoina työskentelivät Pirjo Taube ja Julia Pihlavisto-Hakala. Kesällä 2025 hankkeessa työskenteli lisäksi korkeakouluharjoittelija palkattomalla harjoittelujaksolla.

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 150 756 eur ja kesto 1.10.2024-30.11.2025. Hankekumppanina toimi Huittisten Puhdistamo. Hanke sai rahoitusta Ympäristöministeriön Vesien ja meren tilan parantaminen 2023–2027 (Ahti) -ohjelman osiosta Resurssit talteen ja käyttöön.

Fosforin ja typen kiertoa on lisättävä sekä globaalisti että paikallisesti, sillä nykyiset neitseelliset ravinnelähteet ovat hupenemassa. Suomessa jätevesien fosfori on perinteisesti sidottu alumiini- ja rautakemikaaleihin puhdistamolietteeseen, jolloin fosforin hyödyntäminen jatkokäytössä on vaikeaa. Biologinen fosforinpoisto mahdollistaa fosforin ja typen talteenoton, kun lietteen bakteerit sitovat ravinteita ja vapauttavat ne anaerobisissa olosuhteissa. Näin ravinteet voidaan hyödyntää erilaisissa talteenottomenetelmissä ennen lietteen jatkokäsittelyä.

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

Hanketta edelsivät Ympäristöministeriön rahoittamat SATA-Ravinne- ja BioP-Rec-hankkeet, joissa tarkasteltiin struviitin saostusta pienemmässä mittakaavassa sekä hankittiin pilot-laitteisto Huittisten jätevedenpuhdistamolle. BioStruvi-hankkeen tavoitteena oli syventää Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttamiseen liittyvää ymmärrystä, lisätä struviitin saostusta sekä kartoittaa muita sivuvirtoja, joista voisi muodostaa fosfori-, magnesium- ja typpipitoista struviittia.

Hankkeessa kehitettiin Huittisten Puhdistamolla sijaitsevan struviitin valmistukseen tarkoitetun pilot-laitteiston toimintaa. Laitteisto mahdollistaa yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden lietteiden hyödyntämisen struviitin raaka-aineena. Tavoitteena oli tuottaa jätevedestä perinteisiä lietepohjaisia kiertotalouslannoitteita puhtaampaa ja laadukkaampaa lannoitetta. Struviitin käyttö lannoitteena voi vähentää ilmastonmuutoksen vaikutuksia, sillä se pienentää typpeen perustuvien mineraalilannoitteiden valmistuksen ja käytön aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi struviitti liukenee hitaasti eikä huuhtoudu vesistöihin yhtä helposti kuin monet perinteiset fosforilannoitteet.

Hankkeessa arvioitiin biologisen fosforinpoiston (Bio-P) toimivuutta Suomen olosuhteissa, prosessin tehostamiskeinoja sekä struviitin valmistuksen kannattavuutta ja fosforin kokonaissaantoa. Hankkeessa tarkasteltiin myös teoreettisesti Huittisten puhdistamolla sijaitsevan pienen biokaasulaitoksen kannattavuutta ja struviitin potentiaalista saantoa mädätejännöksen rejektivedestä.

Koeajoissa valmistettuja struviittisakkoja analysoitiin useilla analyysimenetelmillä. Pääraaka-aineina käytettiin BioP-lietettä ja hapanta heraa, ja sivuraaka-aineina hyödynnettiin erilaisia magnesiumin neitseellisiä ja kiertotalousperäisiä lähteitä. Tavoitteena oli tuottaa mahdollisimman puhdasta struviittia ilman haitta-aineita.

Hankkeen viestintää toteutettiin blogikirjoituksilla, haastatteluilla, hankkeen nettisivuilla olevalla raportilla, seminaariesityksillä ja julkisessa loppuwebinaarissa.

2. Hankkeen toteutus

2.1 Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu

Hankkeen toteutusaika oli 1.10.2024-30.11.2025. Toteutus jaettiin neljään työpakettiin.

Työpakettissa 1 tehtiin kirjallisuuskatsauksia Bio-P-prosessin toimivuudesta Suomen olosuhteissa. Kirjallisuustyön perusteella Bio-P-prosessin ympärivuotisuus vaatisi usein enemmän allastilavuutta tai muutoksia laitoksen lämpövirtoihin. Lisäksi jäteveden tulee sisältää riittävästi orgaanista materiaalia suhteessa kokonaisfosforiin, kuten esimerkiksi elintarviketeollisuuden jätevesiä. Työpakettissa selvitettiin myös saatavilla olevan datan perusteella pienen biokaasulaitoksen investointikustannuksia, kun syötteenä oli Bio-P-liete sekä alkutuotannon sivuvirrat.

Työpaketti 2 koostui kokeellisista osuuksista. Bio-P-lietteen sisältämien ravinteiden vapautumisprosessin nopeuttamista Bio-P-lietteestä testattiin Tampereen yliopiston toimesta. Struviitin kiteytyksen pilot-laitteiston toimintaa pyrittiin kehittämään ja kartoitettiin vaihtoehtoisia suodatustekniikoita laitteistoon. Struviitinkiteytyskokeita tehtiin pilot-laitteistolla lähtöaineina sivuvirtana muodostuva hapanta hera ja Bio-P-liete. Saatuja sakkoja analysoitiin Oulun yliopiston toimesta. Lisäksi magnesiumhydroksidin vaikutuksia biokaasulaitosprosessiin selvitettiin puolijatkuvatoimisilla laboratorioskokeilla Hämeen ammattikorkeakoululla.

Työpakettissa 3 laskettiin Bio-P-prosessin ylijäämälietteen teoreettista fosforin kokonaissaantoa jätevedenpuhdistamolla STAN2WEB mallinnustyökalun avulla. Työpakettissa koottiin yhteen tietoa struviitin käytöstä lannoitteena ja sen vaikutuksista vesistöihin olemassa olevien tutkimusten pohjalta. Työpakettien 1 ja 3 kirjallisuuskatsaukset ja arvioinnit on tässä raportissa vedetty yhteen ja esitetty kohdassa 2.4 Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta.

Työpaketti 4 koostui viestinnästä. Hankkeen osatuloja ja toimenpiteitä on esitelty hankkeen nettisivuilla ja Prizztechin blogissa "Oivalluksia arjesta". Myös Prizztechin omassa julkaisussa, Prizz.Uutisissa oli artikkelit hankkeesta keväällä ja syksyllä 2025. Hankkeen työntekijät osallistuivat Biotalouspäiville Poriin keskustelemaan aktiivisesti ja verkostoitumaan alan toimijoiden kanssa. Hanketta pyrittiin esittelemään laajasti. Esitystä tarjottiin mm Vesihuoltopäiville 2025, mutta esitys ei tällä kertaa tullut valituksi.

Hankkeen työpaketien tarkemmat toimenpiteet ja aikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Hankkeen toimenpiteet ja aikataulu.

AIKATAULU & TOIMENPITEET	2024												2025											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TP1: Kirjallisuuskatsaukset ja kartoitukset																								
BioP-prosessin toimivuus Suomen olosuhteissa																								
TP2: Teollinen kokeilu																								
Struviitin kiteytyksen pilotlaitteiston kehittäminen																								
BioP-lietteen vanhentamisen nopeuttaminen																								
Magnesiumhydroksidin lisäämisen vaikutus biokaasulaitoksella																								
Biokaasulaitoksen rejektin ja muiden sivuvirtojen käyttö pilotlaitteistolla																								
TP3: Prosessin käytettävyyden arviointi																								
Struviitin kiteytyksen fosforin saannon selvitys jätevedestä																								
BioP-prosessin kehittäminen ympärivuotiseksi																								
Struviitin käyttö lannoitteena ja sen vaikutukset vesistöihin																								
TP4: Viestintä ja infopakettit																								
Webinaarit																								
Raportointi																								

Hankkeen loppuwebinaari "Kestävää fosforitaloutta puhdistamolietteestä" järjestettiin 18.11.2025. Webinaarissa kuultiin hankkeen toimenpiteistä ja tuloksista, toteutetuista selvityksistä sekä biologisesta fosforinpoistosta. Webinaarin esitysmateriaalit löytyvät hankkeen [nettisivuilta](#).

Hankkeen yhteistyöorganisaatioita olivat Huittisten Puhdistamo ja Berner Chemicals. Struviittikiteytyksen pilotoinnit toteutettiin Huittisten Puhdistamolla ja Berner Chemicals tarjosi hankkeen käyttöön magnesiumkemikaaleja.

2.2 Muutokset

Suurempia muutoksia pääasiallisten toimenpiteiden, aikataulun tai resurssien kannalta ei ilmennyt.

Hankkeen koeajoissa oli joitakin muutoksia suunniteltuun. Kaikkia fosforin vapautumisen nopeuttamiseen suunniteltuja toimenpiteitä ei tehty, koska koejärjestelyt osoittautuivat haasteellisiksi toteuttaa. UV-laitteiston kokeilu olisi vaatinut enemmän suunnittelua kuin mihin resurssit riittivät. UV-laitteistoa voisi mahdollisesti selvittää seuraavassa hankkeessa.

TUNI:lla teetetyistä fosforin vapautumiskokeista ei saatu sellaisia tuloksia, joita olisi voitu soveltaa koejärjestelyihin kuten oli suunniteltu. Vapautumiskokeissa odotettiin, että ympin lisäyksellä olisi saatu fosfori vapautumaan nopeammin ja reaktio voitaisiin lopettaa ennen kuin lietteessä alkaa tapahtumaan mädätystä. Tätä ei kuitenkaan onnistuttu laboratorioskokeella tekemään. Syitä ei yhden

kokeen perusteella voitu selvittää. Mahdollisesti fosforin vapautumisen nopeutusta kokeillaan seuraavassa Struviks- hankkeessa.

Hankkeen yhtenä toimenpiteenä oli testata myös biokaasulaitoksen rejektiä pilot-laitteistolla. Yleisesti maailmalla struviittia kiteytetään biokaasulaitoksen rejekteistä. Koeajoissa haasteena oli rejekti-vesien kiintoaineen heikko erottuminen nestejakeesta. Kiintoainepitoisella nesteellä ei ajettu koeajoja kiteytyssäiliössä, koska tuloksena olisi ollut liikaa epäpuhtauksia sisältävää struviittisakkaa. Mahdollisesti kiintoaine voitaisiin saada erilleen rejektivedestä esim. sentrifugoimalla rejekti ennen kiteytystä, mutta siihen ei ollut mahdollisuuksia pilotlaitteistolla.

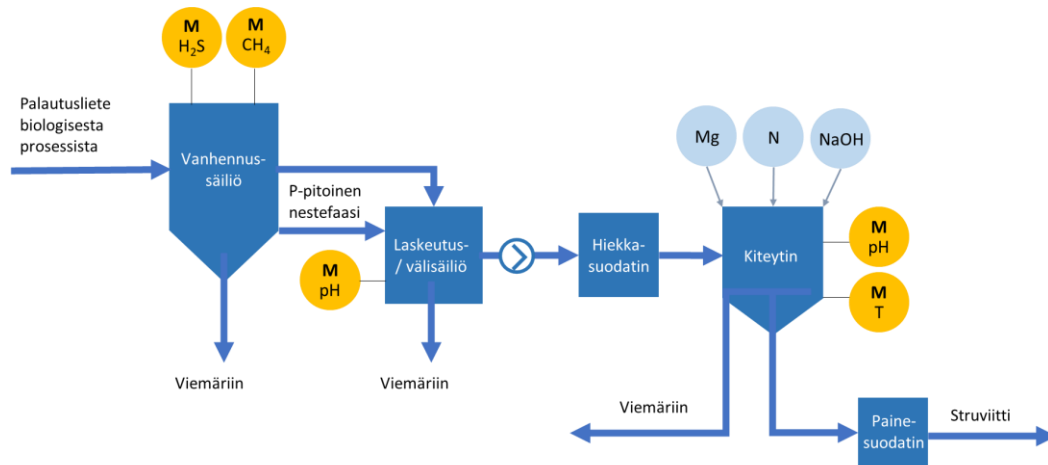
Roxia- painesuodattimen hankinta tai vuokraus oli myös kirjattu alkuperäiseen suunnitelmaan. Kustannussyistä päädyttiin kuitenkin valitsemaan pussisuodatintyyppinen laite vuokrakäyttöön, eikä suodattimen vaihtoa hankkeen aikana koettu kannattavaksi.

2.3 Hankkeen kokeilut ja niiden tulokset

2.3.1 Struviitin kiteytyskokeet

Huittisten jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessia ajetaan osan vuodesta Bio-P-prosessina, jolloin fosfori sitoutuu PAO-mikrobien aineenvaihdunnan avulla jätevesilietteeseen ja fosforin saostuskemikaalin eli ferrosulfaatin, käyttö vältetään lähes kokonaan lämpimänä vuodenaikana. Kun fosfori on sitoutunut lietteeseen biologisesti, ravinteet ovat erotettavissa lietteestä ja hyödynnettävissä myöhemmässä vaiheessa esimerkiksi jatkojalostamalla lietteestä struviittia. Biologinen fosforinpoisto vaatii enemmän allastilaa kuin Suomessa yleisesti käytetty kemiallinen fosforin saostus, sillä mikrobitointi vaatii vuorotellen hapellisia ja hapettomia olosuhteita. Talvella typenpoistoon vaadittava nitrifikaatioprosessi hidastuu lämpötilan laskiessa, jolloin prosessi tarvitsee enemmän allastilaa ja pidempää lieteikää. Täten fosfori saostetaan talvella kemiallisesti, jotta typenpoistoprosessi saadaan toimimaan koko talven ja molemmat ravinteet poistettua jätevedestä lupaehtojen vaatimalla tehokkuudella.

Kuvassa 1 on esitetty struviitin kiteytyksen Huittisten puhdistamolla sijaitsevan pilot-laitteiston prosessikaavio. Laitteisto koostuu fosforin vapautukseen tarkoitetusta lietesäiliöstä, sitä seuraavasta laskeutussäiliöstä, nestejakeen hiekkasuodattimesta sekä struviitin kiteyttimestä. Kiteytynyt struviitti erotetaan lopuksi nestejakeesta painesuodattimella.



Kuva 1. Struviittikiteytyksen prosessikaavio Huittisten Puhdistamolla

Kuvassa 2 on valokuva panostoisesta struviitin kiteytyksen pilot-laitteistosta. Pilot-laitteistossa vasemmalla takana sijaitsee lietteen ravinteiden vapautussäiliö, vasemmalla edessä IBC-kontti lietteen laskeutukseen, oikealla edessä sininen hiekka-suodatin nestejakeen puhdistukseen ja oikealla takana kiteytin. Laitteistoon kuuluu myös kuvassa 3 esitetty painesuodatinlaitteisto, joka hankittiin laitteistoon myöhemmin.



Kuva 2. Struviittikiteytyksen pilot-laitteisto



Kuva 3. Painesuodatinlaitteisto struviittikiteiden ja nestejakeen erotukseen

Struviitti on yhdiste, joka muodostuu ortofosfaatti-, magnesium- ja ammoniumtyppi-ioneista ja ki-
vedestä. Struviitissa ortofosfaatin, magnesiumin ja ammoniumtyypen moolisuhde on 1:1:1. Tämän
vuoksi lietteen ortofosfaatin pitoisuus tulee määrittää, jotta magnesiumia ja tarvittaessa typpeä osa-
taan lisätä suotuisat määrät. Struviitin kiteytyminen tapahtuu tyypillisesti pH-alueella 8–10. Magne-
siumkemikaalit nostavat pH:ta hieman luonnostaan, mutta lähes kaikkiin pilot-laitteistolla tehtyihin
eriin lisättiin lipeää pH:n nostamiseksi halutulle tasolle. Bio-P-lietettä viivytettiin anaerobisissa oloissa
noin 2 viikon ajan, kunnes fosforia oli vapautunut tarpeeksi nestejakeeseen.

Koeajot

Pilot-laitteistolla toteutettiin yhteensä 13 koeajoa, joista kolmen lähtöaineena oli juustonvalmistuk-
sen sivutuotteena syntyvä hapan hera ja kymmenessä koeajossa Huittisten Puhdistamon Bio-P-pro-
sessin palautusliete. Koeajoissa testattiin erilaisia polymeerejä sekä magnesiumin ja typen lähteitä.

Kaikista koeajoista saatiin tulokseksi sakkaa, joista osa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Bio-P-lietteestä saostettuja struviittisakkoja, saadun sakan hiilimäärä vaihtelee, mikä näkyy vaaleusasteena. Erät 16 ja 21 erityisen puhtaita.

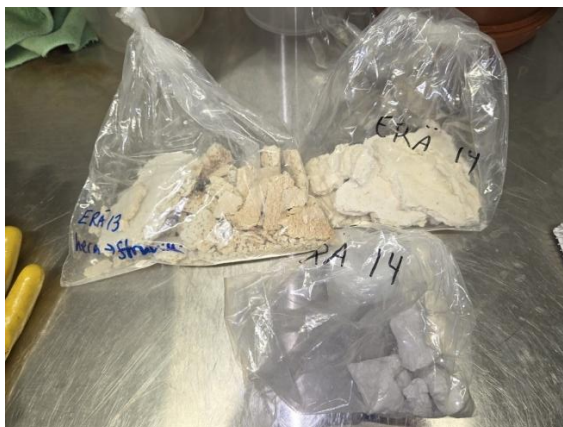
Yhteenvedo koeajoista ja käytetyistä kemikaaleista on esitetty taulukossa 2. Koeajoissa pyrittiin käyttämään biopolymeerejä, koska haluttiin minimoida sakkaan jääviä PAM eli polyakryyliamidi jäämiä.

Koeajoissa käytettiin erilaisia magnesiumyhdisteitä ja niiden valmistuksessa syntyviä magnesiumin sivuvirtoja. Kokeissa havaittiin, että magnesiumhydroksidi- ja magnesiumoksidilisiä ei pH:n säätöä yleensä tarvittu kuten muilla käytetyillä magnesiumlisillä. Ortofosfaatti-, magnesium- ja ammonium-typpi -suhteita vaihdeltiin, koska pyrittiin löytämään ideaaliset magnesiumin ja tarvittaessa typen lisäyssuhteet. Kuitenkin joissain koeajoissa käytettiin varmuuden vuoksi suurempaa magnesiumlisää ja niiden kokeiden sakoissa on voinut olla suuremman magnesium ylimäärän takia myös reagoimatonta magnesiumia. Ylimääräisellä magnesiumilla ei kuitenkaan ole toiminnallista haittaa lannoite-tuotteelle. Kaikkia sakkoja ei ehditty hankkeen puitteissa analysoida.

Taulukko 2. Toteutetut koeajot pilot-laitteistolla, pääraaka-aineet, käytetyt polymeerit ja lisäaineet sekä näiden suhteet lisäaineiden lisäysten jälkeen. Erissä 12–14 NH₄:PO₄-suhde on mitattu kokonaisfosforin ja fosfaatin KokP:PO₄-suhteena.

eränro	pääraaka-aine	polymeeri	magnesium		typpi	
				Mg:PO ₄		NH ₄ :PO ₄
erä 12	hapan hera	-	Mg(OH) ₂	1,1	-	3
erä 13	hapan hera	-	MgSO ₄	7	-	9
erä 14	hapan hera	-	Mg(OH) ₂ (PAKMAG)	6,3	-	9
erä 15	BioP-liete	DPS	Mg(OH) ₂ (PAKMAG)	2	-	1
erä 16	BioP-liete	DPS	anhydraatti	0,8	-	1,4
erä 17	BioP-liete	Haarla	hieno MgO PAKMAG	1,2	-	2,6
erä 18	BioP-liete	Haarla	heptahydraattipöly	6,8	-	2,7
erä 19	BioP-liete	DPS	heptahydraattipöly	4,8	-	?
erä 20	BioP-liete	Haarla	heptahydraattipöly	19	(NH ₄) ₂ SO ₄	4,8
erä 21	BioP-liete	Haarla	hieno MgO PAKMAG	3,6	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,2
erä 22	BioP-liete	Haarla	heptahydraattipöly	22	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,1
erä 23	BioP-liete	Haarla	heptahydraattipöly	22	(NH ₄) ₂ SO ₄	1,1
erä 24	BioP-liete	Haarla	anhydraatti	1,1	-	0,8

Pilot-laitteistolla testattiin Bio-P-lietteen lisäksi struviitin valmistusta Sastamalan Herkkujuustolasta saadulla happamalla heralla. Heran mitattiin sisältävän riittävästi liukoista fosforia, mutta kalsiumia oli struviittikiteytyksen kannalta haitallisen paljon. Syntynyt sakka oli parhaimmillaan yli 50 %:sti struviittia, mutta sisälsi myös kalsiumfosfaatteja sekä paljon orgaanista ainesta. Saatuja sakkvoja on esitetty kuvassa 5. Kalsiumin poistamista selvitettiin kirjallisuudesta ja muutamalla kokeilulla, mutta siinä ei onnistuttu. Happaman heran pH-säädössä oli haasteita, sillä heran sisältämät bakteerit laskevat pH:ta, eikä pH siten pysynyt struviittikiteytykselle sopivalla tasolla. Juustoloissa syntyy myös ns. makeaa heraa, jonka pH on korkeampi. Sen pH:n säätäminen olisi todennäköisesti helpompaa. Makeaa heraa ei kuitenkaan löytynyt tarpeellista määrää lähialueen juustoloista.



Kuva 5. Happamasta herasta kiteytettyjä struviittisakkvoja.

Analysit

Ortofosfaatti-, ammoniumtyppi- sekä kokonaistyyppipitoisuuksia määritettiin spektrofotometrillä. Bio-P-lietteen pilot-kokeissa ortofosfaatti väheni nestejakeesta keskimäärin 88,8 % ja ammoniumtyppi keskimäärin 56 %.

Seuraavassa taulukossa 4 on esitetty hankkeen aikana tehtyjen koeajojen saadut sakkamäärät, teoreettinen saanto sekä saadun sakkamäärän ja teoreettisen saannon suhde.

Taulukko 4. Koeajoerät, pääraaka-aineet sekä saatujen sakkojen määrä, teoreettinen määrä ja niiden suhde.

eränro	pääraaka-aine	sakka (g)	teoreettinen saanto (g)	sakka/teor saanto (%)
erä 12	hapan hera	20	4226	0,47
erä 13	hapan hera	169,1	1262	13,40
erä 14	hapan hera	198,8	1471	13,51
erä 15	BioP-liete	170	990	17,17
erä 16	BioP-liete	503	1138	44,20
erä 17	BioP-liete	319,3	1312	24,34
erä 18	BioP-liete	125	1140	10,96
erä 19	BioP-liete	379,32	1078	35,19
erä 20	BioP-liete	223,7	843	26,54
erä 21	BioP-liete	498	1295	38,46
erä 22	BioP-liete	241	1082	22,27
erä 23	BioP-liete	264	1025	25,76
erä 24	BioP-liete	268	681	39,35

Koeajoissa, joissa käytettiin hapanta heraa ortofosfaattia väheni 76,6 %, mutta analyysien mukaan struviittia ei syntynyt samassa suhteessa. Kiteytyksen aikana pH ei pysynyt halutulla tasolla happaman heran oman bakteeritoiminnan takia ja sakkaan syntyi luultavimmin kalsiumfosfaatteja. Sakan sisältämä hiili on happaman heran orgaanisia jäämiä: heraproteiinia, laktoosia ja/tai rasvaa. Suurimmillaan BioP-lietteellä saanto on ollut maksimissaan 44 %. Heran saanto oli noin 13 % ja yhdessä kokeessa ei saatu fosforia lainkaan talteen. Jatkossa saannon kasvattamiseksi olisi hyvä tavoitella struviittikiteiden kasvattamista sekä kehittää parempaa nestejakeen ja struviittisakan erotustekniikkaa. Esimerkiksi tiheämpien suodatinpussien käyttö tai kokonaan uudenlainen suodatusmenetelmä voisi auttaa. Kaikkia tuotettuja struviittisakkoja ei ehditty hankkeen puitteissa analysoidaan.

Struviittisakkoja analysoitiin Oulun yliopistolla. Käytetyt menetelmät olivat XRD (röntgendiffraktio) ja XRF (röntgenfluoresssi), joilla mitattiin syntyneen struviitin määrää; alkuaineanalyysi (CHNSO-analysaattori), jolla saatiin selville hiilen, typen, vedyn ja rikin määrät sekä ICP-OES (induktiivisesti kytkettyyn plasmaan perustuva optinen emissiospektroskopia), joilla mitattiin raskasmetalleja.

Struviittipitoisuus määritettiin XRD-analyysillä, joka tunnistaa näytteessä olevan kiteisen struviitin määrän sen kiderakenteen perusteella. XRD kertoo siis, kuinka paljon kiteitä näytteessä on.

Alkuainekoostumus analysoitiin XRF-menetelmällä, ja sen perusteella laskettu "laskennallisesti struviitiksi määritelty" arvo kuvaa suurinta mahdollista struviittimäärää, jos kaikki havaitut magnesium-, fosfori- ja typpimäärät olisivat muodostaneet struviittia. XRF-arvo on teoreettinen, eikä kerro todellisesta mineraalipitoisuudesta, vaan ainoastaan kemiallisten alkuaineiden perusteella laskettua struviittipitoisuuden ylärajaa.

XRD- ja XRF-tulokset eivät ole keskenään suoraan vertailukelpoisia. XRF mittaa alkuaineiden kokonaismäärää riippumatta siitä, missä kemiallisissa yhdisteissä ne esiintyvät, kun taas XRD tunnistaa vain kiteiset fosfaattimineraalit eikä esimerkiksi orgaanisia yhdisteitä tai amorfista ainesta. Lisäksi XRD ei aina pysty erottamaan kaikkia fosfaattimineraaleja toisistaan, kuten struviittia, kalsiumfosfaatteja ja magnesiumfosfaatteja, mikä voi vaikuttaa tuloksiin.

Kun raaka-aineena oli Bio-P-liete, struviittisakan struviittipitoisuus analyysin tulosten mukaan (XRD ja XRF) mukaan 89–95 %. Kun raaka-aineena oli hapan hera, ongelmana olivat suuret kalsiumpitoisuudet ja happaman heran bakteerit, jotka haittasivat pH:n nostoa halutulle tasolle. Siksi happamasta herasta saostetuissa struviittisakoissa struviittipitoisuus oli keskimääräisesti noin 38–71 %, analyysimenetelmän mukaan (XRD/XRF). Hiiltä oli Bio-P-lietteestä saostetuissa struviittisakoissa maksimissaan 4,5 %, kun happamasta herasta saostetuissa struviiteissa hiiltä oli enimmillään jopa 12 %. Seuraavassa taulukossa 5 on esitelty analysoitujen sakkujen oleelliset analyysitulokset.

Taulukko5. Pilot-laitteistolla toteutetut erät, syötteen, struviittipitoisuus XRD- ja XRF-analyysien mukaan, hiilipitoisuudet sekä huomioita muista XRD-analyysissa havaituista mineraaleista.

Erä	Syöte	Struviitti (%) XRD	Struviitti (%) XRF	Hiili (%)	Huomioita XRD-tuloksista
Erä 12	Hera	15,0	84,22	9,32	72,2 % Mg(OH) ₂
Erä 13	Hera	95,5	57,366	12,15	
Erä 14	Hera	6,7	-	7,01	75 % Mg(OH) ₂ 18 % CaHPO ₄
Erä 15	Bio-P-liete	90,77	95,23	1,60	9,23 % H ₄ MgO ₂
Erä 16	Bio-P-liete	100,0	92,53	0,58	
Erä 17	Bio-P-liete	100,0	93,89	0,67	
Erä 18	Bio-P-liete	100,0	89,47	4,50	

Haitta-aineanalyysit

Struviittinäytteistä analysoitiin haitallisten aineiden pitoisuudet ja verrattiin niitä MMM:n lannoitevalmisteiden asetuksen raja-arvoihin. Aikaisemmassa BioP-Rec -hankkeessa teettämämme laajemman [haitta-aineselvityksen](#) mukaan jatkossa kannattaa pyrkiä tekemään struviittia, jossa on vielä alhaisempi lietepitoisuus. Tässä hankkeessa ei ole saatu oleellisesti alhaisempia lietepitoisuuksia, joten laajaa haitta-aineanalyysiä ei tehty.

Seuraavassa taulukossa 6 on esitetty haitta-aineiden pitoisuuksia verrattuna MMM:n lannoiteasetuksen raja-arvoihin. Haitta-aineiden pitoisuudet eivät ylittäneet raja-arvoja missään tutkituista sakkaeristä. Elohopeaa ei saatu analysoitua teknisien haasteitten takia.

Taulukko 6. Toisella rivillä on esitetty MMM:n asetuksen haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet. Muilla riveillä on esitetty pilot-kokeista saatujen struviittinäytteiden haitallisten aineiden pitoisuudet.

Haitalliset aineet	pääraaka-aine	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta		40	1,5	300	600	100	70	1500
Erä 9	BioP-liete	<1,25	<0,048	1,89	12,1	0,423	2,01	20,3
Erä 10	BioP-liete	4,8	0,087	13,5	22	10,6	11,4	55,5
Erä 11	BioP-liete	3,19	0,097	8,23	43,6	5,17	7,55	71,1
Erä 12	hapan hera	0,83	<0,08	6,87	6,45	1,78	6,99	45,25
Erä 13	hapan hera	18,6	<0,08	7,11	4,07	8	8,03	74,8
Erä 14	hapan hera	5,52	<0,25	6,01	4,67	10,03	38,7	26,7
Erä 15	BioP-liete	<0,9	<0,25	7,2	3,11	3,18	18,3	10,5
Erä 16	BioP-liete	<0,9	<0,25	2,06	3,04	<2,3	7,4	5,79
Erä 17	BioP-liete	<0,9	<0,25	3,77	1,93	<2,3	8,2	3,63
Erä 18	BioP-liete	<0,9	<0,25	3,1	34,1	<2,3	18,4	45,5

2.3.2 Laboratoriokokeet muilla sivujakeilla

Hankkeessa selvitettiin myös muiden sivuvirtojen potentiaalia struviitin kiteytykseen sekä mahdollisuutta saada näytteitä testattavaksi laboratorioissa ja pilot-laitteistolla.

Struviitin valmistukseen sopivia biokaasulaitoksen rejektijakeita selvitettiin kirjallisuudesta. Sellaisia syntyy syötteen ollessa mm elintarviketeollisuuden biojäte, biojätteen ja Bio-P-lietteen sekasyöte, lantapohjainen syöte ja kasvibiomassa. Kemiallisesti saostettu puhdistamoliete ei sovellu struviitin valmistukseen hyvin, sillä siinä on liian vähän liukoista fosforia. Liukoista fosforia tulisi olla vähintään 70 mg/l, jotta struviittikiteytys onnistuisi. Myös ammoniumtyypen ja liukoisen fosforin suhde on tärkeä. Jos ammoniumtyypeä on ylimäärin, kiteytystä ei tapahdu. Siksi joissain tapauksissa, jos ammoniumtyypen määrä nousee yli 5-kertaiseksi liukoiseen fosforiin nähden, jakeita tulisi yhdistellä fosforikkaampiin jakeisiin tai fosforia olisi muuten lisättävä.

Puutarhojen sivuvirrat

Puutarhatuotannon sivujakeissa, kuten salaatinpakkaamisen yhteydessä poistetuissa lehdistä ja kasvualustoissa, on runsaasti ravinteita. Kasvihuoneissa tomaatin ja kurkun viljelyssä poistetaan joka viikko lehtiä, jotka sisältävät ortofosfaattia ja ammoniumtyypeä.

Tuiskulan kylässä sijaitsevasta Härkälän puutarhasta saatiin puutarhan sivujaenäytteitä, joita testattiin laboratorioissa. Sivuvirtaa ko. jakeista muodostuu yhteensä noin 25 tonnia vuodessa. Näyte esikäsiteltiin, ja siitä mitattiin ortofosfaatti ja typpi. Näissä jakeissa oli struviitin valmistukseen riittävästi

ortofosfaattia (700–950 mg/l) ja ammoniumtyyppiä (250–340 mg/l). Jotta sivuvirrasta voitaisiin valmistaa struviittia, se pitää esikäsitellä eli murskata, hienontaa ja puristaa neste erilleen. Murskauksen ja hienontamisen jälkeen nestejakeen sisältämää kiintoainetta ei kuitenkaan käytössä olevilla laitteilla saatu erotettua, joten ei koettu kannattavaksi tehdä näytteestä koeajoa pilotlaitteistolla.

Huomioitavaa on, että yksittäisen puutarhan sivuvirrat voivat olla suhteellisen pieniä määriä kannattavalle struviitin valmistamiselle. Yhdistelemällä erilaisten puutarhojen ja muiden sivuvirtatuottajien jakeita, ravinteiden talteenotto voisi kuitenkin olla kannattavaa. Toisaalta struviittia ei välttämättä kannata kiteyttää puutarhatuotannon sivujakeista, koska kasvualustoissa ja lannoitteissa saatetaan käyttää kalsiumia, mikä estää struviitin kiteytymistä. Puutarhatuotannon sivuvirta sisältää myös paljon orgaanista ainesta, hienojakoista kiinteää ainesta ja humusta, mikä jää helposti struviittisakan sekaan tehden siitä epäpuhdasta.

Sikalan biokaasulaitoksen rejekti

Emomyllyn sikalan biokaasulaitoksen rejektistä mitattiin liukoisen fosforin ja ammoniumtyypen pitoisuudet. Mittauksen mukaan rejektivesi sisälsi suhteellisen vähän ortofosfaattia. Rejektivedessä oli todennäköisesti mukana heraa, jonka korkea kalsiumpitoisuus sitoo fosforia kalsiumfosfaatiksi. Tämä vähentää liukoisen fosforin määrää. Emomyllyn rejekti sisälsi myös runsaasti kiintoainetta, eikä siitä saatu kunnolla laskeutettua kiteytykseen sopivaksi kiintoaineesta vapaaksi nestejakeeksi eri polymeerien testaamisesta huolimatta.

Puhdistamolietevapaan biokaasulaitoksen rejekti

Uudessakaupungissa sijaitsevan Biolinjan biokaasulaitoksen rejektiä saatiin testattavaksi. Laitos käyttää syötteenä muun muassa erilliskerättyä biojätettä. Näytteestä mitattiin ortofosfaatti ja ammoniumtyppi sekä tehtiin polymeerikokeita kiintoaineen laskeuttamiseksi. Näytteen havaittiin sisältävän riittävästi ortofosfaattia ja korkea pitoisuus ammoniumtyyppiä. Liian korkea ammoniumtyppi suhteessa ortofosfaattiin voi jopa estää struviitin muodostumisen. Kiintoainetta ei kuitenkaan saatu erotettua nestejakeesta tarpeeksi hyvin, joten rejektiä ei voitu kokeilla kiteytyksessä pilot-laitteistolla.

2.3.3 Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttamisen nopeutus

Hankkeessa teetettiin tutkimus fosforin vapautumisen nopeuttamisesta Tampereen yliopistolla (TUNI). Tarkoituksena oli tutkia, voiko mädätteen mikrobimassan lisääminen biolietteeseen nopeuttaa fosfaatin ja ammoniumtyypen vapautumista PAO-mikrobeista anaerobisissa olosuhteissa.

Kokeet toteutettiin panostoimisina pullokokeina ja puolijatkuvatoimisina reaktoreina, ja mikrobilähteenä käytettiin mädätettyä sekä lämpökäsiteltyä lietettä. Pullokokeiden perusteella reaktorikokeisiin valittiin 3 ja 6 päivän viipymät, koska fosforin vapautuminen oli voimakkainta ensimmäisten päivien aikana. Panoskokeissa seurattiin mm. pH:ta, ravinnepitoisuuksia, rasvahappoja, COD-arvoa ja kaasun koostumusta. Tavoitteena oli laskea pH alle 6,5 jolloin fosfori vapautuisi nopeammin, mutta

metaanintuotanto ei vielä alkaisi. Reaktoreissa pidettiin pH samassa arvossa ja mitattiin samoja muuttujia. Mikrobin lähteenä käytettiin Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon mädätettyä lietettä sekä lämpökäsiteltyä lietettä.

Tuloksissa havaittiin, että mädätettä sisältävissä pulloissa fosfaattia ei vapautunut toivotusti, todennäköisesti mädätteen sisältämien rautayhdisteiden sitoman fosfaatin vuoksi. Biolietteen hydrolyysissa vapautui liukoista orgaanista hiiltä, mutta reaktoreissa sen määrä pysyi lähes vakiona, ja metaanintuotto käynnistyi noin viiden päivän kohdalla. Mikrobilisäyksen vaikutus jäi odotettua heikommaksi, ja tulokset viittasivat siihen, että fosforin vapautuminen riippuu ensisijaisesti biolietteen omasta hydrolyysista ja mikrobien aktiivisuudesta. Jatkossa pidemmät kokeet ja rauta- tai alumiinisuoloja sisältämättömät mikrobilähteet voisivat parantaa fosforin vapautumista. Raportti tutkimuksesta löytyy hankkeen nettisivuilta <https://www.prizz.fi/kehittamisteemat/bio-ja-kiertotalous/biostruvi.html>.

2.3.4 Magnesiumhydroksidin lisäämisen vaikutus biokaasulaitoksella

Magnesiumhydroksidia käytetään laajasti teollisuudessa ja jätevedenkäsittelyssä muun muassa savukaasupesureiden rikinpoistossa, pH:n nostamiseen, metallien saostamiseen sekä rikkivedyn muodostumisen ehkäisyyn. Myös biokaasulaitoksilla magnesiumhydroksidilla voi olla useita hyötyjä. Valmistajien mukaan se voi lisätä biokaasun muodostumista, vähentää hajua aiheuttavan rikkivedyn tuotantoa sekä alentaa kokonaiskuiva-aineen, haihtuvien kiintoaineiden ja liukoisen orgaanisen aineen (COD) pitoisuuksia. Lisäksi sillä voi olla vaikutusta liukoisen fosforin määrään, mikäli se saostaisi fosforin fosfaatiksi tai struviitiksi.

Magnesiumhydroksidin vaikutusta mädätysprosessiin tutkittiin ostopalveluna Hämeen ammattikorkeakoululla (HAMK), jossa mädätysajaja tehtiin 102 vuorokauden ajan kolmessa puolijatkuvatoimissa, täysisekoitteisessa viiden litran reaktorissa. Reaktoreiden syötteenä käytettiin Uudenkaupungin Biolinjan biokaasulaitoksen biojätettä, ja yksi reaktori toimi verrokkina kahden magnesiumhydroksidilisäystä sisältäneen reaktorin rinnalla. Tutkimuksessa arvioitiin lisäyksen vaikutusta biokaasuntuottoon ja liukoisen fosforin määrään, ja syöttö- sekä annostussuunnitelmaa tarkennettiin kokeen edetessä analyysitulosten perusteella.

Tulosten perusteella magnesiumhydroksidi ei merkittävästi muuttanut biokaasun määrää tai koostumusta, mutta alensi selvästi rikkivedyn pitoisuutta reaktoreissa, joihin lisättiin magnesiumia. Lisäksi liukoisen fosforin määrä väheni magnesiumhydroksidia saaneissa reaktoreissa jopa 83 % verrokkiin verrattuna.

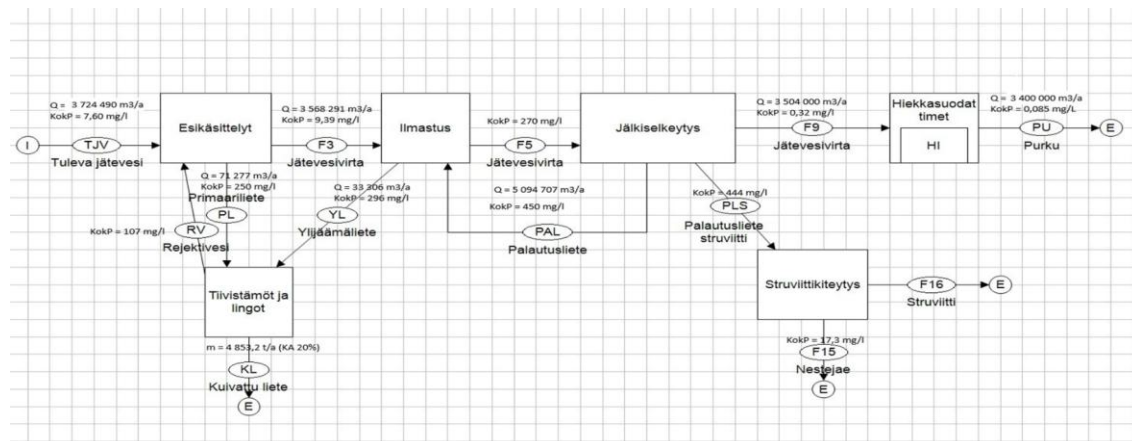
Struviitin muodostuminen on ollut mahdollista fosforin vähentyessä, mutta sakkaa ei ehditty erottaa ja analysoida. Myöhemmin mahdollisesti selvitetään, muodostuiko magnesiumin lisäyksen seurauksena reaktorissa struviittia.

2.4 Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta

Tässä kappaleessa on esitetty työpakettien 1 ja 3 kirjallisuuskatsaukset. Työpaketissa 1 tehtiin kirjallisuuskatsauksia Bio-P-prosessin toimivuudesta Suomen olosuhteissa ja selvitettiin myös saatavilla olevan datan perusteella pienen biokaasulaitoksen investointikustannuksia, kun syötteenä oli Bio-P-liete sekä elintarviketeollisuuden sivuvirrat ja sianlanta. Työpaketissa 3 laskettiin Bio-P-prosessin ylijäämalietteen teoreettista fosforin kokonaissaantoa jätevedenpuhdistamolla STAN2WEB mallinnustyökalun avulla ja koottiin yhteen tietoa struviitin käytöstä lannoitteena ja sen vaikutuksista vesistöihin olemassa olevien tutkimusten pohjalta.

Kirjallisuustarkastelussa arvioitiin, kuinka paljon fosforia voitaisiin teoreettisesti ottaa talteen struviittina Huittisten Puhdistamon prosesseista. Laskelmien mukaan ylijäämaliete sisältää noin 9,99 tonnia fosforia vuodessa, mikä vastaa 35 % puhdistamolle tulevasta fosforikuormasta. Jos kaikki ylijäämaliete hyödynnettäisiin struviittikiteytyksessä ja ravinteiden vapautus toimisi optimaalisesti, voitaisiin fosforista talteen ottaa 50–83 %, mikä vastaa 12,9–21,5 tonnia struviittia vuodessa. Suurempiin saantoihin päästäisiin, jos myös primäärilietteen fosfori olisi hyödynnettävissä, mutta käytännössä tämä on mahdollista vain biokaasulaitoksen rejektiveden kautta.

Bio-P-prosessin ylijäämalietteen teoreettista fosforin kokonaissaantoa jätevedenpuhdistamolla arvioitiin STAN2WEB mallinnustyökalun avulla. Seuraava kuva 6 kuvaa mallinnustyökalun avulla tehtyä fosforinkiertoa Huittisten puhdistamolla, johon myös edellä olevat laskelmat myös perustuvat.



Kuva 6. Huittisten Puhdistamolle tuleva fosforimäärä jätevesissä ja lietteissä sekä tämänhetkinen struviittikiteytyslaitteisto, jolla voidaan panostoisesti käsitellä Bio-P:n ollessa käynnissä tämänhetkisinä Bio-P-lietteen ravinteiden vapautustekniikoilla kuutio lietettä viikossa. Arviointiin käytettiin STAN2WEB mallinnustyökalua.

Pienen biokaasulaitoksen investointikustannuksia puhdistamolle tarkasteltiin olemassa olevien tietojen ja Luken Biokaasulaskurin avulla. Tarkastelussa hyödynnettiin Huittisten puhdistamolta saatuja

tietoja käsittelyyn menevästä lietteestä sekä Envitecopolisin Satafoodille toteuttamaa tarkastelua Huittisissa olevista potentiaalisista biokaasulaitossyötteistä. Työn tarkoituksena oli selvittää alustavasti kustannuksia puhdistamolle, sillä niille on asetettu kansallinen energiaomavaraisuusvelvoite vuoteen 2045 mennessä. Pienen puhdistamon yhteyteen rakennetun biokaasulaitoksen rejektivedestä toteutettu struviittikiteytys ja -saanto on merkittävästi suurempi, verrattuna suoraan ylijäämälietteestä toteutettuun kiteytykseen. Tätä eroa selittää primäärilietteen suuri määrä, joka pelkästään jätevesilaitokselta hyödynnettävässä struviittikiteytyksessä ei tällä hetkellä Huittisten Puhdistamolla pystytä hyödyntämään. Puhdistamoille on asetettu kansallinen energiaomavaraisuusvelvoite vuoteen 2045 mennessä, joten Huittisten puhdistamolle haluttiin selvittää puhdistamon omiin lietteisiin nojaavan biokaasulaitoksen kannattavuutta.

Kirjallisuustutkimus osoitti, että biokaasulaitoksen yhteyteen toteutettu struviittikiteytys voi nostaa talteenoton merkittävästi korkeammalle tasolle, sillä biokaasulaitoksen rejektivesi sisältää enemmän liukoista fosforia kuin jätevedenkäsittelyn ylijäämäliete. Tämän vuoksi tarkasteltiin myös pienen biokaasulaitoksen kannattavuutta puhdistamon yhteydessä. Luken laskureilla arvioitujen skenaarioiden mukaan noin miljoonan euron investoinnilla ja pelkällä puhdistamolietteellä struviittipotentiali olisi noin 325 t/vuosi, ja 1,2 miljoonan euron investoinnilla – kun mukana olisi lisäksi noin 10 000 tonnia sianlantaa – noin 363 t/vuosi. Sianlannan lisäys ei kasvata struviittipotentialia merkittävästi, koska sen liukoisen fosforin määrä on pieni, mutta biokaasun tuotanto kasvaa huomattavasti. Jos käsitteilykapasiteettiin lisätään muita syötteitä, voidaan biokaasun tuotanto kaksinkertaistaa laitosinvestoinnin hinnan noustessa vain 10 %.

Biokaasun tuotto olisi lietteillä noin 1 262 MWh ja sianlannan kanssa noin 3 000 MWh. CHP-tuotannon eli biokaasun polttaminen yhdistettyyn lämmön ja sähköntuotantoon mahdollistaisi puhdistamon sähkönkulutuksen kattamisen 9–25 %:sti. Lämpö voitaisiin hyödyntää Bio-P-prosessin ylläpitoon. Laskelmat eivät sisällä sitä rajoitetta, että Bio-P-prosessi on toiminnassa vain noin 40 % vuodesta, mikä vaikuttaa käytännön toteutettavuuteen.

2.5 Hankkeen viestintä

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

1. Hankkeen puitteissa on osallistuttu aktiivisesti vesihuoltoalan ja kiertotalouden tapahtumiin. Tilaisuuksissa on pyritty viestimään hankkeen kulusta ja toimenpiteistä sekä verkostoitumaan alan toimijoiden kanssa.
2. Verkossa, mm. Prizztechin blogissa (<https://www.prizz.fi/ajankohtaista/oivalluksia-arjesta/sivuja-keet-kayttoon.html>), on viestitty hankkeen osatuloista ja toimenpiteistä.
3. Hankkeen tuloksia esittelevä loppuwebinaari järjestettiin 18.11.2025.

- Prizztechin kaksi kertaa vuodessa ilmestyvässä paperisessa Prizz.Uutiset-lehdessä oli juttu hankkeesta ja hankkeen toimenpiteistä keväällä ja syksyllä 2025.

3. Hankkeen tulokset

Lähes kaikki hankkeen tavoitteista toteutettiin suunnitelman mukaan tai hankkeen aikana parhaaksi havaitulla tavalla. Hankkeessa syntyi paljon dataa, joka koostettiin erilliseksi, tuloksia tarkemmin esiteltäväksi raportiksi. Hankkeen julkinen loppuraportti liitteinen löytyy hankkeen [nettisivuilta](#).

Struviittia saatiin valmistettua pieniä määriä suhteellisen puhtaana, mutta lietejäämien erottamista nestejakeesta ennen kiteytystä ja prosessin nopeuttamista voisi kehittää lisää jatkossa. Koko prosessia nopeuttaisi oleellisesti Bio-P-lietteen fosforin vapautuksen nopeutus, joka ei tässä hankkeessa edennyt ennako-odotusten mukaisesti. Seuraavassa hankkeessa on tarkoitus perehtyä tähän haasteeseen vielä lisää.

BioP-lietteen koeajoissa syötteenä käytettiin palautuslietettä, jota ei voida täysimääräisesti hyödyntää struviitin kiteytykseen, koska se on oleellinen osa itse Bio-P-prosessin toimintaa. Ylijäämälietteen voisi käyttää kokonaisuudessaan struviittikiteytykseen, mutta sen ottaminen laitoksen prosessista ei ole yhtä yksinkertaista kuin palautuslietteen. Tällä hetkellä ylijäämäliete sekoitetaan primääriletteeseen ja johdetaan tiivistämöön ja lingoille. Sieltä rejektivesi, joka sisältää myös paljon liukoista fosforia, palautetaan takaisin esikäsittelyyn ja liete lähtee lieteautolla Gasumin biokaasulaitokselle mädätykseen. Lington rejektiveden käyttöä struviitin valmistuksessa voitaisiin mahdollisesti kokeilla tulevaisuudessa, mikäli rejektivettä on mahdollista ohjata pilot-laitteistolle.

Hankkeessa tarkasteltiin struviittikiteen kasvatusta. Mikäli kiteet saataisiin kasvatettua kiinnittymällä toisiinsa esimerkiksi siemenkiteiden avulla niiden laatua voisi oletettavasti parantaa ja struviitti olisi helpommin suodatettavaa ja käsiteltävää lannoitteena. Happaman heran struviitikokeissa kokeiltiin siemenkiteinä perliittiä ja bentoniittia ja Bio-P-struviittikokeissa käytettiin siemenkiteinä aiemmin saatua struviittia. Saatuja sakkoja ei ehditty analysoida kidekoon kannalta tämän hankkeen aikana. Kiteiden kasvatusta selvitetään edelleen Struviks hankkeessa.

Kirjallisuuskatsauksessa ja koko hankkeen koeajojen aikana tehtiin arviointia struviitin saannosta ja BioP-prosessin hyödyistä ja sen laajentamisesta ympärivuotiseksi. Suomessa biologinen fosforin saostus on käytössä vain muutamalla puhdistamolla ja niissäkin vain osavuotisesti. Biologisen fosforin saostuksen (BioP-prosessi) olisi suotuisaa yleistyä puhdistamoilla ravinteiden talteenoton, kierrätyslannoitteiden markkinoille saamisen, ympäristövaikutusten ja käyttökustannusten vaikutusten vuoksi. Väljästi mitoitetulla puhdistamolla siirtyminen kemiallisesta puhdistuksesta Bio-P:hen vaatii ylläpitäjiltään asiantuntemusta biologisesta fosforin poistosta ja sen toteutuksesta, mutta keskimääräisesti muutokseen tarvitaan lähinnä prosessin säätöä ja se ei vaadi suuria investointeja.

Hankkeessa tarkasteltiin struviitin teoreettista saantoa ylijäämälietteestä. BioP-laitoksella on palautuslietteessä fosforia liukoisessa muodossa suuria määriä ja riittäviä pitoisuuksia struviitin saostukseen. Käytännössä hankkeen koeajot kuitenkin osoittivat, että struviitin kiteytys suoraan jätevesilaitokselta on haastavaa, koska fosforin vapautuminen vaatii aikaa ja struviittia voitaisiin saostaa vain pieniä määriä. Lisäksi erotustekniikkaa pitäisi kehittää käyttövarmemmaksi, jolloin fosforipitoinen nestejäte saataisiin mahdollisimman puhtaaksi. Fosforin vapautumisen nopeuttaminen on oleellinen asia, joka tulee ratkaista struviitin valmistamiseksi BioP-prosessista. Puhdistamon yhteyteen rakennetun biokaasulaitoksen rejektivedestä toteutettu struviittikiteytys ja -saanto olisi merkittävästi suurempi kuin BioP-laitoksen ylijäämälietteestä. Optimaaliseen struviitin valmistukseen nykyisin käytössä olevilla tekniikoilla voitaisiin päästä näiden yhdistelmällä; struviitti saostettaisiin pääasiassa biokaasulaitokselta ja lisäksi Bio-P-laitokselta, jossa saostuksen avulla voitaisiin parantaa BioP-prosessin stabiiliutta ja estettäisiin fosforin rikastuminen prosessin jälkiosassa.

Jatkossa kannattaa seurata yleisesti jäteveden puhdistuksen tekniikoiden ja lainsäädännön kehittymistä. Koska BioP-prosessi ei ole Suomessa yleinen, olisi seurattava sitä, miten muualla ja erityisesti viileämmän ilmaston maissa struviitin valmistuksen tekniikat kehittyvät.

4. Hankkeen vaikutukset

Uusi liiketoiminta ja työllisyys

BioStruvi-hankkeessa kehitettiin pilot-mittakaavan struviitin saostuslaitteistoa tehokkaammaksi sekä arvioitiin sen ja Bio-P-prosessin ympärivuotista toimivuutta, kannattavuutta ja fosforin talteenoton teoreettista kokonaissaantoa.

Kotimaisen struviitin vieminen kannattavasti lannoitemarkkinoille edellyttää tuotteen kilpailukykyistä hintaa, luotettavaa toimitusketjua sekä tasalaatuista ja turvallista valmistusta. Struviitin kiteytys vaatii edelleen kehityspanoksia ja voisi kehittyessään mahdollistaa uuden liiketoiminnan syntymisen. Tämän hankkeen työllistämisaikutukset olivat 1,5 htv kokonaisuudessaan mukaan lukien hanketyöntekijät, puhdistamolla tehty työpanos sekä ostopalvelut. Pysyvää työllistämisaikutusta ei uuden liiketoiminnan kautta syntynyt.

Suoraan BioStruvi-hankkeen myötä käynnistyi jatkohanke, STRUVIKS, joka työllistää edelleen hankenkilökuntaa ja mahdollisesti myös puhdistamon henkilökuntaa. Hankkeen synnyttämät potentiaalliset työllisyysvaikutukset selviävät vasta tulevaisuudessa, mikäli puhdistamon yhteyteen päätetään käynnistää uutta liiketoimintaa lietteen käsittelyyn tai Bio-P-prosessi ja ravinteiden talteenotto yleistyvät muualla Suomessa.

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.

Bio-P-prosessin taloudelliset vaikutukset

Bio-P-prosessiin siirtyminen jätevedenpuhdistamolla on taloudellisesti kannattavaa siihen liittyvien kustannusvaikutusten vuoksi. Investointikustannukset ovat hyvin vähäiset vaatien selvitystyötä, mutta ei juurikaan laiteinvestointeja. Kemikaalien käytön vähentämisellä ja kuljetuskustannusten säästöllä saadaan huomattavat säästöt verrattuna kemialliseen fosforin saostukseen myös osavuotisenä toteutuksena. Esimerkkitapauksessa Huittisten Puhdistamolla (avl 74 000) säästöt ovat olleet noin 25 000 eur vuodessa.

Fosforin kierrätys

Nykyisellä Pilot-laitteistolla saadaan talteen 6,3 kg fosforia vuodessa, mikäli Bio-P-prosessia ajetaan Huittisten puhdistamolla noin puolet vuodesta. Tämä tarkoittaisi noin 50 kg tuotettua struviittia vuodessa. Jos fosforin vapautumista lietteestä voitaisiin turvallisesti nopeuttaa ilman mädätysilmiötä, struviitin saantoa pilot-laitteistolla voitaisiin nostaa. Kun struviitin valmistus yhdistetään Bio-P-prosessiin, osa tuestä saadaan talteen struviittina, mikä pienentää myös typenpoiston kustannuksia. Lisäksi biokaasulaitoksen toiminta tehostuu, koska lietteen mukana ei kulkeudu prosessiin rautayhdisteitä, jotka voivat häiritä orgaanisen aineen mädätystä ja biokaasun muodostusta. Huittisten puhdistamolla struviitin saanto täysimittaisella laitteistolla voisi olla 13–22 t, mikäli lähes kaikki ylijäämälietteeseen sitoutunut fosfori voidaan vapauttaa nestefaasiin ja kiteyttää struviitiksi.

Ympäristövaikutukset

Struviitilla on lannoitteena merkittävät ympäristövaikutukset, koska sitä saadaan uudelleen kiertoon ja se on moniravinteinen lannoite, joka vapauttaa ravinteet tasaisesti kasvukauden aikana. Struviitti ei hidasliukoisena lannoitteena huuhtoudu pelloilta pois helposti ja täten sen käytöllä olisi vaikutusta myös vesiensuojeluun. Osittaiseen Bio-P-prosessiin siirtymisellä jätevedenpuhdistamot voisivat merkittävästi pienentää ympäristövaikutuksia kemikaalien käytön vähentämisen kautta. Fosfori saataisiin kiertoon jätevesilietteistä ja Fe- ja Al-fosfaattien päätymistä maaperään voitaisiin vähentää.

Uuden liiketoiminnan syntyminen haasteena on, että Bio-P-prosessi on Suomessa harvinainen ja toimii vain osan vuodesta. Talvikaudella, pääosin marras–huhtikuussa, fosfori saostetaan jätevedenpuhdistusprosessissa kemikaaleilla, koska biologinen fosforinpoisto vaatisi allastilaa, jota tarvitaan

typenpoiston poistovaatimusten täyttämiseen. Tämän vuoksi Bio-P joudutaan tauottamaan kylmänä aikana. Jatkossa Bio-P-prosessin edellytykset tulisi huomioida paremmin sekä uusia laitoksia suunniteltaessa että vanhoja saneerattaessa, ja myös Bio-P:n osittaisen käytön laajempaa hyödyntämistä olisi syytä tarkastella.

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

5. Talousraportti

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 150 756 euroa, josta ympäristöministeriön avustuksen osuus oli 65 % eli 97 991 euroa. Alla olevassa taulukossa 7 on esitetty yhteenveto hankkeen toteutuneista kokonaiskustannuksista alkuperäiseen rahoitussuunnitelmaan nähden.

Taulukko 7. Yhteenveto hankkeen kustannusarvion toteutumisesta

1.10.2024-30.11.2025

Kustannuslaji	Budjetti	Toteutuneet kustannukset 1.10.2024-30.11.2025
A. Palkkakulut	81480	86338
B. Välineet ja laitteet	3000	0
D. Ostopalvelut	41150	42589
E. Yleiskustannukset ja muut toimintakustannukset	25126	25785
Yhteensä	150756	154712

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 150 756 euroa ja se ylittyi toteuman ollessa 154 712 euroa. Taulukosta puuttuu tilintarkastusmaksu, joka oli suuruudeltaan 2 200 euroa. Näin ollen kokonaiskustannukset ovat yhteensä 156 912 euroa.

Palkkakuluihin, joihin tässä laskelmassa on sisällytetty lomapalkat ja lomarahat, olivat 81 480 euroa ja se ylittyi toteuman ollessa 86 338 euroa. Välineisiin ja laitteisiin oli budjetoitu 3 000 eur, ja toteuma laskelmassa siltä osin oli 0 euroa. Pienvälineet on sisällytetty ostopalveluihin.

Ostopalveluihin oli budjetoitu 41 150 eur ja ne ylittyivät toteuman ollen 42 589 euroa. Yleis- ja muiden toimintakustannusten osalta budjetti oli 25 126 euroa ja se ylittyi toteuman ollen 25 785 euroa. Hankkeessa on käytetty budjetissa hyväksyttyä 20 % yleis- ja muut toimintakustannuskerrointa (flat rate 20 %).

6. Yhteenveto

Struviitinkiteytys yhdistettynä Bio-P-prosessiin jätevesilaitoksella, joko suoraan jätevesilietteestä tai puhdistamon jälkeisen biokaasulaitoksen rejektivesistä on järkevää fosforin talteen saamiseksi. Hankkeen toimenpiteillä tarkasteltiin edellisiä hankkeita tarkemmin Bio-P-prosessin mahdollisuuksia Suomen olosuhteissa ympärivuotisena, Bio-P-lietteen ravinteiden vapautumista sekä struviitin kiteytystä lähtien Bio-P-lietteestä ja happamasta herasta. Sakkoja saatiin talteen enemmän kuin aiemmissa hankkeissa. Happamalla heralla struviittipitoisuus sakoissa oli havaittujen alkuaineiden määrän mukaan laskennallisesti arvioidun XRF-analyysin mukaan alimmillaan 7 %, Bio-P-lietteellä tehdyillä erillä ylimmillään 96 %.

Seuraavan STRUVIKS-hankkeen tavoitteena on löytää lisää keinoja lietteen vanhentamisen nopeuttamiseen, struviitin kiteiden kasvattamiseen, isomman mittakaavan laitteiston kustannuksien selvittäminen ja sen myötä struviitinkiteytyksen kustannusten selvittäminen tarkemmin. Paras vaihtoehto olisi, jos struviitinkiteytyksessä käytettäisiin mahdollisimman paljon erilaisia sivuvirtoja, eikä neitseellisiä raaka-aineita, mihin näissä hankkeissa ja tulevassa hankkeessa myös on tarkoitus keskittyä. Näin saadaan kustannuksetkin pysymään kurissa.

LIITTEET

Kustannuserittely

Kirjanpidon otteet raportointijakson aikana toteutuneista kustannuksista

Työajan seurantadokumentit

Tilintarkastajan lausunnolla varustettu selvitys valtionavustuksen käytöstä