

BioStruvi loppuraportti

Biologisen fosforinpoiston ja struviitin
kiteytyksen kehittäminen

Iiris Puhakka, Julia Pihlavisto-Hakala ja Pirjo Taube



Sisällys

1.	Johdanto.....	3
2.	Bio-P-prosessi ja sen toimivuus Suomen olosuhteissa	4
2.1.	Biologisen fosforinsaostuksen vaiheet ja mikrobitoiminta	4
2.2.	Biologinen fosforinsaostus Suomessa	6
3.	Lietteen käsittely ja jatkojalostaminen.....	7
4.	Struviitin kiteytys Bio-P-puhdistamolietteestä.....	9
4.1.	Struviittikiteytyksen kehittäminen Huittisten jätevedenpuhdistamolla	11
4.2.	Polymeerien testaaminen	11
4.3.	Bio-P-lietteen ravinteiden vapautuksen nopeuttaminen	13
4.3.1	Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen ultraviolettivalolla	13
4.3.2	Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen lämpötilaa nostamalla.....	13
4.3.3	Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen ympin avulla.....	14
4.4.	Kansallinen ja Euroopan Unionin lannoitelainsäädäntö ja struviitti.....	14
5.	Bio-P-lietteen ravinteiden vapautuksen nopeutus ympin avulla.....	16
6.	Struviitin kiteytyksen potentiaali jätevedenpuhdistamolla	17
7.	Struviitin kiteytys Huittisten puhdistamon Bio-P-lietteestä.....	18
7.1.	Toteutetut koeajot	19
7.2.	Struviittianalyysit.....	20
8.	Magnesiumhydroksidin vaikutus biokaasulaitosprosessiin	21
9.	Struviitin kiteytys biokaasulaitoksen rejekteistä	23
9.1.	Mädätekokeet BioStuvi-hankkeessa	24
9.2.	Pieni biokaasulaitos jätevedenpuhdistamolla	25
10.	Struviitin kiteytys elintarviketeollisuuden sivuvirroista	26
10.1.	Hera	26
10.2.	Kasvihuoneen sivuvirta	27
11.	Struviitin käyttö lannoitteena ja sen vaikutukset vesistöihin	28
12.	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	28

TIIVISTELMÄ

Tämä on Prizztech Oy:n koordinoiman BioStruvi-hankkeen loppuraportti. Hankkeen toteutusaika oli 1.10.2024 – 30.11.2025. Hankkeen projektipäällikkönä toimi Iiris Puhakka. Asiantuntijoina toimivat Pirjo Taube sekä Julia Pihlavisto-Hakala.

Hanke sai rahoitusta Ympäristöministeriön Vesien ja meren tilan parantaminen 2023–2027 (Ahti) -ohjelman lohkosta Resurssit talteen ja käyttöön. Hankekumppanina toimi Huittisten Puhdistamo. Hankkeen viestintää toteutettiin blogikirjoitusten, haastattelujen, seminaariesitysten ja loppuwebinaarin kautta.

Ravinteiden talteenotto ja kierrätys ovat ensisijaisessa roolissa mineraalisten tuontilannoitteiden vähentämisessä. Esimerkiksi biologisen fosforinsaostuksen (Bio-P) omaavien yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden lietteet sisältävät runsaasti fosforia ja typpeä, joiden talteenottomenetelmistä struviittisaostus nähdään yhtenä potentiaalisimmista. Struviitti, eli magnesiumammoniumfosfaatti, on erinomaiset lannoiteominaisuudet omaava fosfaattisuola, joka alkaa sopivissa kemiallisissa olosuhteissa saostua itsensä.

Hankkeen Huittisten Puhdistamolla sijaitsevan struviitin saostuksen pilot-laitteiston toimintaa kehitettiin ja koeajoja suoritettiin Bio-P-lietteen lisäksi meijerin sivuvirtana syntyvällä happamalla heralla. Laboratoriossa tutkittiin mahdollisuutta biokaasulaitoksen rejektin sekä puutarhatuotannon sivuvirran hyödyntämisestä, mutta niiden todettiin olevan liian työläitä esikäsiteltäviä testattavaksi olemassa olevalla pilot-laitteistolla.

Kiteytetyistä struviittisakoista analysoitiin alkuaine- sekä haitta-ainepitoisuuksia eri menetelmillä. Röntgendiffraktio- eli XRD-menetelmällä sakoissa havaittiin pääosin struviittia, mutta myös muita yhdisteitä. Laskennallisella XRF menetelmällä struviitin pitoisuudeksi Bio-P-lietteestä saostetuissa sakoissa laskettiin 89 % ja 96 % välille. Lietteen nestejakeen fosfaattipitoisuus väheni struviittisaostuksen myötä parhaimmillaan 92 %. Havaitut haitta-aineet alittivat kansallisen lannoitelainsäädännön vaatimukset kaikissa näytteissä.

Hankkeessa selvitettiin teoreettisesti fosforin talteenottoa Huittisten Puhdistamon ylijäämälietteestä. Laskelmien mukaan struviittikiteytyksellä voitaisiin saada talteen 17,6–29,4 % puhdistamolle tulevasta kokonaisfosforikuormasta. Tämä tarkoittaisi 12,9–21,5 tonnia talteenotettua struviittia vuodessa. Pieneltä samaa ylijäämälietettä raaka-aineena hyödyntävältä biokaasulaitokselta struviittia saataisiin selvityksen mukaan moninkertaisesti enemmän syötteen suuremman määrän sekä ravinteiden vapautumisen vuoksi.

Hankkeessa toteutettiin ravinteiden vapautumisen nopeuttamiskoe Tampereen Yliopiston toimesta, jossa ympäristöä lisättiin Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon mädätettä sekä lämpökäsittelyä mädätettä. Mädätteen havaittiin olevan haastava bakteerilisyksen lähde, sillä liete sisälsi fosforinsaostuskemikaaleja ja lämpökäsittelystä huolimatta metaania tuottavia mikrobeja. Hämeen ammattikorkeakoulun toimesta tutkittiin magnesiumhydroksidin lisäyksen vaikutusta biokaasuprosessiin, jossa sen ei todettu vaikuttavan muodostuvan biokaasun tuotantoon. Magnesiumlisäyksellä havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia, kuten rikkivedyn muodostumisen väheneminen. Liukoisen fosforin määrä mädätteessä laski huomattavasti.

1. Johdanto

1960-luvun jälkeen ruuantuotanto maailmassa on nelinkertaistunut, mikä vastaa väestönkasvun tahtia. Ruuantuotannon lisääntyminen on ollut mahdollista lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden, teollisesti valmistettujen rehun sekä koneellistumisen ansiosta. Tänä aikana typen lannoitekäyttökäyttö on kymmenkertaistunut ja fosforin nelinkertaistunut. Pelkästään Suomessa fosforilannoituksen tarve on vuosittain noin 23,3 miljoonaa kiloa. Nykyinen ruokajärjestelmä nojaa vahvasti louhittaviin lannoitteisiin, niiden kansainväliseen kauppaan sekä fossiiliseen energiaan (Maaseudun Tulevaisuus, 2023a).

Suomi on melko omavarainen ruoantuotannossa, mutta hyvin riippuvainen tuotantoon tarvittavista lannoitteista ja kasvinsuojeluaineista. Suomesta löytyy yksi fosfaattikaivos Siilinjärveltä, mutta typpilannoitteissa sekä kaliumissa olemme käytännössä tuonnin varassa. EU-tasolla tilanne ei ole parempi: 2000-luvulla alue on muuttunut lannoitteiden viejästä niiden tuojaksi. Suurimpia viejämaita typen osalta ovat Pohjois-Afrikan ja Lähi-idän maat sekä Venäjä (Maaseudun Tulevaisuus, 2023a).

Luonnonvarakeskuksen (2023) mukaan tehokkaan ravinteiden kierrätyksen avulla voitaisiin kattaa jopa 90 % Suomen fosforilannoituksen tarpeesta ja korvata yli 10 miljoonaa kiloa mineraalifosforia. Kansallisenä tavoitteena onkin edistää ravinteiden kierrätystä ja saada sen ympärille uutta liiketoimintaa. Lisäksi Suomeen on suunnitteilla useita vihreän ammoniakkin tuotantolaitoksia, jotka yhdessä ravinteiden kierrätyksen kanssa parantaisivat Suomen omavaraisuutta lannoitevalmisteiden osalta (Maaseudun Tulevaisuus, 2023b).

Ravinteiden talteenottoa jätevesistä on tutkittu pitkään. Tutkimuksen kohteena ovat olleet niin jätevesi, lietteet, kuin rejektivedetkin. Jätevedenpuhdistustekniikka on kehittynyt huomattavasti ja samalla lainsäädäntö asettaa yhä tiukempia vaatimuksia puhdistetun jäteveden laadulle. Viimeisimpänä parempaa puhdistustehokkuutta erityisesti haitallisten aineiden osalta vaatii yhdyskuntajätevesidirektiivi ([2024/3019](#)), joka tulee implementoida kansalliseen lainsäädäntöön heinäkuuhun 2027 mennessä. Lisäksi puhdistamolietedirektiivi on raportin kirjoitushetkellä evaluointivaiheessa ja saattaa asettaa uusia tavoitteita puhdistamolietteiden käsittelyyn tai ravinteiden hyödyntämiseen.

Vallitsevassa globaalissa epävarmuuden ajassa jätevedenpuhdistamot halutaan valjastaa pelkän jätevedenkäsittelyn sijaan resurssitehtäiksi. Päivitetyssä yhdyskuntajätevesidirektiivissä on keskisuurille ja suurille jätevedenpuhdistamoille asetettu kansallinen energiaomavaraisuustavoite vuoteen 2045 mennessä. Puhdistetun veden lisäksi puhdistamot tuottaisivat esimerkiksi lämpöä jätevedestä, sähköä aurinkopaneeleilla tai biokaasua lietteestä, sekä laadukkaita lannoitetuotteita tai maanparannusaineita. Tässä raportissa keskitytään jäteveden sisältämään ravinnemäärään sekä ravinnepotentiaaliin, joka puhdistamoilta on mahdollisuus ottaa talteen.

Struviitti eli magnesiumammoniumfosfaatti (MAP) on fosforia, typpeä ja magnesiumia sisältävä fosfaattisuola. Globaalisti struviitin saostaminen nähdään yhtenä potentiaalisimmista vaihtoehdoista fosforin talteenottoon jätevesistä, erityisesti talteenottoprosessien teknologisen valmiuden sekä hyvien lannoiteominaisuuksien, kuten hitaan liukenevuuden vuoksi.

2. Bio-P-prosessi ja sen toimivuus Suomen olosuhteissa

Biologinen puhdistusprosessi tarjoaa merkittäviä etuja verrattuna perinteisen kemiallisen jätevedenpuhdistuksen menetelmiin. Se alentaa sekä kemikaalien käyttömäärää että hoitokustannuksia, samalla kun saavuttaa erinomaisen fosforin poiston. Bio-P-prosessissa eli EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) prosessissa, fosforin sitoutuminen mikrobeihin mahdollistaa fosforin talteen ottamisen ja hyödyntämisen kierrätyslaitteena, verrattuna fosforin kemialliseen sitouttamiseen rautaan tai alumiiniin. Bio-P-prosessin haittapuolena on sen suurempi herkkyys ympäristöolosuhteiden muutoksille sekä suurempi allastilan tarve, jotta fosforin ja typen poisto olisi jätevedenpuhdistamolla luotettavaa ja tehokasta. Käytännön tutkimuksissa on osoitettu, että prosessi saavuttaa noin 95 % fosforin poistotehokkuuden, mutta typen poistotehokkuus jää hieman alhaisemmaksi, noin 80 %:iin (Yuan et al. 2021).

2.1. Biologisen fosforinsaostuksen vaiheet ja mikrobitoiminta

Biologinen fosforinpoisto perustuu PAO (Phosphorus Accumulating Organisms) eli polyfosfaattimikrobeihin. Ne ovat joukko mikrobeja, joilla on kyky varastoida itseensä ylen määrin fosforia ympäristöstään eli enemmän kuin ne tarvitsevat kasvuunsa. Näitä mikrobeja esiintyy jätevedenpuhdistamoiden aktiivilietteessä, jossa ne siirtävät fosforia tehokkaammin kuin tavalliset bakteerit. (Pitkämäki, 2020).

Bio-P-prosessissa jätevesi kulkee vuorotellen hapettomien (anaerobisten), vähähappisten (anoksisten) ja hapellisten (aerobisten) vaiheiden läpi. Bio-P-prosessin periaatekaavio on esitetty kuvassa 1 ja selitetty alla.

1. Anaerobinen vaihe:

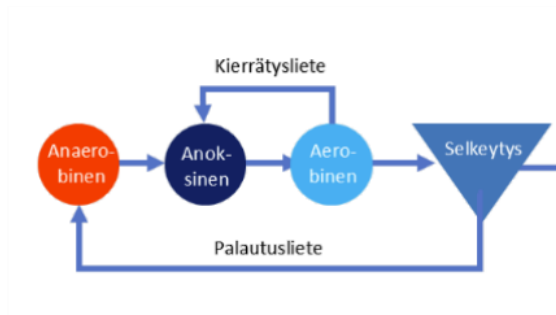
Tässä vaiheessa ei ole happea eikä nitraattia. Tavoitteena on luoda olosuhteet, joissa fosforia varastoivat mikrobet (PAO:t) saavat kilpailuedun. Tavalliset bakteerit hajottavat helposti hajoavaa orgaanista ainesta (rbCOD) haihtuviksi rasvahapoiksi (VFA), joita PAO:t käyttävät energianlähteenään ja varastoivat soluihinsa. VFA:n muodostuminen on hidasta ja määrittää siksi anaerobisen vaiheen keston. Jos jätevedessä on happea tai nitraattia, tavalliset bakteerit kuluttavat VFA:ta ennen PAO:ja, mikä heikentää fosforinpoiston tehoa.

2. Anoksinen vaihe:

Kun olosuhteissa on nitraattia mutta ei happea, PAO:t käyttävät varastoitua polyfosfaattia energianlähteenä ja vapauttavat fosforia liukoisena ortofosfaattina. Saatua energiaa käytetään PHA-varastojen muodostamiseen VFA:sta. PHA:t ovat rasvahapoista muodostuvia yhdisteitä.

3. Aerobinen vaihe:

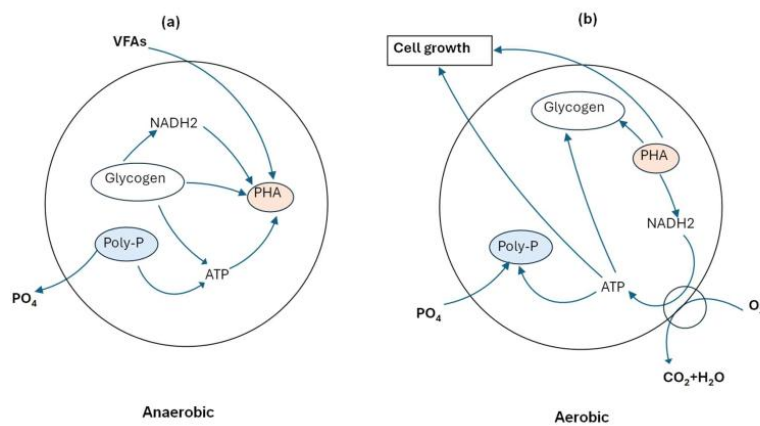
Happea sisältävässä vaiheessa PAO:t käyttävät varastoimaansa PHA:ta energiana ja ottavat vedestä fosforia takaisin vielä enemmän kuin aikaisemmin vapauttavat. Näin fosfori sitoutuu lietteeseen.



Kuva 1. Biologisen fosforinpoiston (Bio-P) periaate (Pitkäjärvi, 2020, muokattu lähteestä Henze et al. 2008).

Anaerobisessa vaiheessa fosforia siis vapautuu veteen, ja aerobisessa vaiheessa mikrobit sitovat sen takaisin itseensä. Selkeytysvaiheessa osa lietteestä poistetaan järjestelmästä ylijäämalietteenä, myös siihen sitoutunut fosfori poistuu — näin fosfori saadaan pysyvästi pois jätevedestä ja osa lietteestä sekä mikrobeista kierrätetään takaisin prosessiin. (Pitkäjärvi, 2020.)

Bio-P-laitoksissa lietteeseen sitoutuu tyypillisesti 0,06–0,15 mg fosforia liitteessä olevaa kiintoainemilligrammaa kohti, mikä on moninkertainen määrä verrattuna tavalliseen ilmastettuun lietteeseen. PAO:t muodostavat yleensä noin 10–20 % aktiivilietteen mikrobeista. Ne voivat toimia hieman eri tavoin riippuen siitä, millaisia yhdisteitä ne varastoivat ja miten ne reagoivat erilaisiin olosuhteisiin, mutta perusperiaate on sama: fosfori vapautuu hapettomassa vaiheessa ja sitoutuu takaisin hapellisessa vaiheessa. (Pitkäjärvi, 2020.) Polyfosfaattimikrobien toiminta hapellisissa ja hapettomissa olosuhteissa on esitetty kuvassa 2.



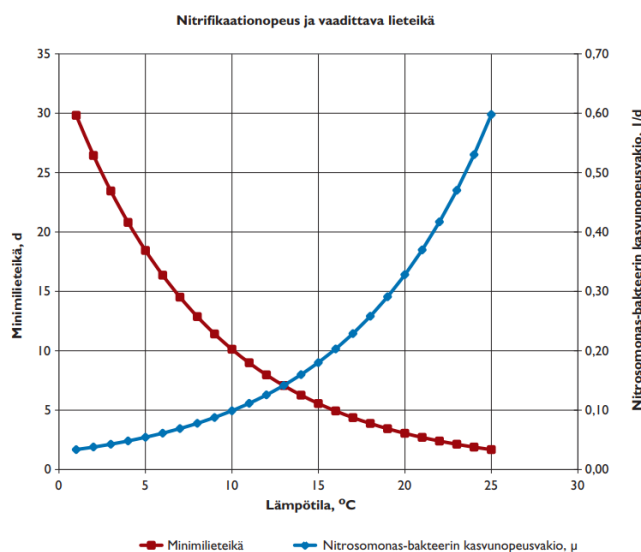
Kuva 2. PAO-mikrobien toiminta anaerobisissa ja aerobisissa olosuhteissa (Chen, 2024).

Jätevedenpuhdistuksen kannalta polyfosfaattimikrobien aineenvaihdunnan ymmärtäminen on keskeistä hyvien puhdistustulosten varmistamiseksi sekä ravinteiden talteen ottamiseksi. Ravinteiden talteenotossa fosforin vapautus voidaan toteuttaa hallitusti esimerkiksi lietteen käsittelyssä anaerobisissa oloissa, minkä jälkeen vapautunut ortofosfaatti voidaan ottaa talteen, esimerkiksi saostamalla se struviittina. Perinteisesti Suomessa käytetyllä kemiallisella fosforin saostuksella fosfori muodostaa raudan tai alumiinin kanssa hyvin pysyviä yhdisteitä, joista ravinteita ei saa talteen eikä liete luovuta fosforia tehokkaasti kasvien käyttöön välttämättä vuosienkaan kuluessa.

2.2. Biologinen fosforinsaostus Suomessa

Suomessa biologinen fosforinpoistoprosessi on käytössä vain muutamilla jätevesilaitoksilla ja niilläkin vain osan vuodesta. Huittisissa Bio-P-prosessi on käytössä kesällä ja syksyllä, kokonaisuudessaan noin 40 % vuodesta ja Savonlinnan Pihlajaniemen jätevedenpuhdistamolla noin 80 % vuodesta. Rauta- ja alumiinikemikaaleja käytetään fosforin saostamiseen talviaikaan sekä biologisen fosforinpoiston yhteydessä jälkiselkeytyksessä varmistamassa riittävä fosforin poistuminen puhdistettavasta jätevedestä. Kuitenkin Pohjoismaissa ja vastaavissa ilmasto-olosuhteissa Pohjois-Amerikassa on laitoksia, joissa biologinen fosforinpoisto on ympärivuotinen prosessi. Bio-P-prosessin toteuttaminen vuoden ympäri vaatii tiettyjä ominaisuuksia puhdistettavalta jätevedeltä, kuten riittävää haihtuvien rasvahappojen (VFA) määrää, sekä biologisen prosessin vaatimuksien huomiointia mieluiten jo laitoksen suunnitteluvaiheessa.

Haasteena kylmissä ilmasto-olosuhteissa on talviaikainen veden viileneminen, sillä typenpoisto vaatii lämpöä. Typenpoistoon vaadittavan mikrobien aineenvaihduntaan liittyvän nitrifikaation nopeus laskee verrannollisesti lämpötilan laskiessa, kuten kuvaajassa 1 on esitetty. Alhaiset lämpötilat hidastavat mikro-organismien toimintaa ja täten nitrifikaatio-denitrifikaatioprosesseja. Riittävän puhdistustehon saavuttamiseksi prosessi vaatii lämpöä, tai vaihtoehtoisesti enemmän allastilavuutta ja pidempiä lietteen viipymäaikoja. Typenpoiston varmistamiseksi, esimerkiksi Huittisissa, kaikki ilmastusaltat joudutaan talviaikaan valjastamaan typenpoistoon, jolloin fosforinpoistoon biologisesti ei jää allastilavuutta, joten fosforin saostus joudutaan toteuttamaan kemiallisesti.



Kuvaaja 1. Lämpötilan vaikutus lieteikään ja nitrifikaatiobakteerien toimintaan (Laitinen, Nieminen, Saarinen ja Toivikko. 2014, s. 44.)

Uutta jätevedenpuhdistamoa suunniteltaessa altaat voidaan mitoittaa siten, että typen- ja fosforinpoisto on mahdollista toteuttaa biologisesti ympäri vuoden, eli ilmastusaltaiden tilavuus riittäisi ylläpitämään tarvittavia aerobisia, anaerobisia sekä anoksisia lohkoja. Esimerkiksi Tanskassa Helsingørin puhdistamolla kemiallisbiologinen prosessi mahdollistaa noin 76 000 asukkaan asukasvastineluvun (AVL) mukaisen jätevesimäärän puhdistamisen, kun taas pelkällä Bio-P-prosessilla kapasiteetti on noin 40 000 AVL. Laitoksen nykyinen kuormitus on noin

32 000 AVL, ja toimii biologiseen fosforinpoistoon perustuvana prosessina ympäri vuoden (Resource check for selected treatment plants - Water sector resource utilisation partnership. 2021, s. 30–34).

Olemassa olevilla puhdistuslaitoksilla tilanne on haastavampi, sillä altaiden kapasiteetti ei usein mahdollista ympäri vuoden toimivaa Bio-P-prosessia eikä taloudelliset resurssit allaskapasiteetin kasvattamista. Mahdollisia ratkaisuja Bio-P-prosessin tukemiseen voisivat olla esimerkiksi:

- Jäteveden lämpötilan nostaminen hyödyntämällä lämmöntalteenottojärjestelmiä tai muita lämmönlähteitä ilmastusvaiheessa
- Ilmastus- ja muiden altaiden peittäminen ja eristäminen, jotta lämpöhäviöitä voidaan ehkäistä
- Ilmastuksen tehostaminen prosessiautomaation avulla

Hyvä esimerkki viimeisestä on Turun seudun puhdistamon omistaman Kakolanmäen suurpuhdistamo, jossa käyttöön otettiin ammoniumtyyppi-anturi jäteveden typpikuormituksen reaaliaikaiseen seurantaan. Prosessisäädöillä saavutettiin 7 % säästö ilmastusilmamäärässä ja samalla typenpoisto tehostui 19 % (Levomäki, 2019).

Eräässä diplomityössä (Eriksson, 2018) tutkittiin biologisen fosforinpoistoprosessin optimointia ja sen vaikutusta fosforin talteenottoon jätevedestä. Työssä selvitettiin prosessin toimivuuteen vaikuttavia keskeisiä tekijöitä, kuten haihtuvien rasvahappojen (VFA) saatavuutta, COD/TP-suhdetta eli orgaanisen materiaalin suhdetta kokonaisfosforimäärään, pH:ta ja nitraattipitoisuuksia. COD/TP-suhde on biologisen fosforinpoiston "tasapainoluku" ja kertoo, onko mikrobeille saatavilla tarpeeksi energiaa suhteessa poistettavan fosforin määrään. Liian matala suhde rajoittaa mikrobien toimintaa, kun taas optimaalinen suhde takaa hyvän fosforinpoiston ja vähentää kemiallisen jälkisaostuksen tarvetta. Tulosten mukaan erityisesti VFA:n riittävä muodostuminen on ratkaisevaa Bio-P-prosessin tehokkuuden kannalta. Kun fosforin vapautuminen ja sitoutuminen ovat hallittuja, voidaan ravinteiden talteenotto maksimoida.

Bio-P-prosessia voidaan tehostaa myös lisäämällä prosessiin haihtuvia rasvahappoja esimerkiksi mädätetyn puhdistamolietteen tai [ruokajätteen](#) mädätysnesteen muodossa. Samalla jokainen jätevedenpuhdistusprosessi on yksilöllinen puhdistettavan jäteveden määrästä ja ominaisuuksista riippuen, joten suoria ohjeita Bio-P-prosessin ympärivuotiseen toiminnan varmistamiseen ei ole. Huoltovarmuusorganisaatio (2020) on korostanut tarvetta käytännönläheiselle biologisen fosforinpoiston soveltamisohejelle jätevedenpuhdistamoille, jotta laitokset voivat toimia myös tilanteissa, joissa fosforinsaostuskemikaalien saatavuus on rajoittunut.

Yhteenvetona voidaan todeta, että biologisen fosforinpoiston toteuttaminen vaatii kemiallisesti sopivaa jätevettä, eli riittävästi haihtuvia rasvahappoja (VFA) tai kemiallisella hapenkulutuksella (COD) mitattavia orgaanisia aineita, jotta PAO-bakteerit toimivat optimaalisella tavalla. Ympärivuotinen Bio-P-prosessi vaatii riittävästi allastilaa riittävän lieteiän saavuttamiseksi tai yli 15 asteen lämpötilaa nitrifikaation tukemiseen.

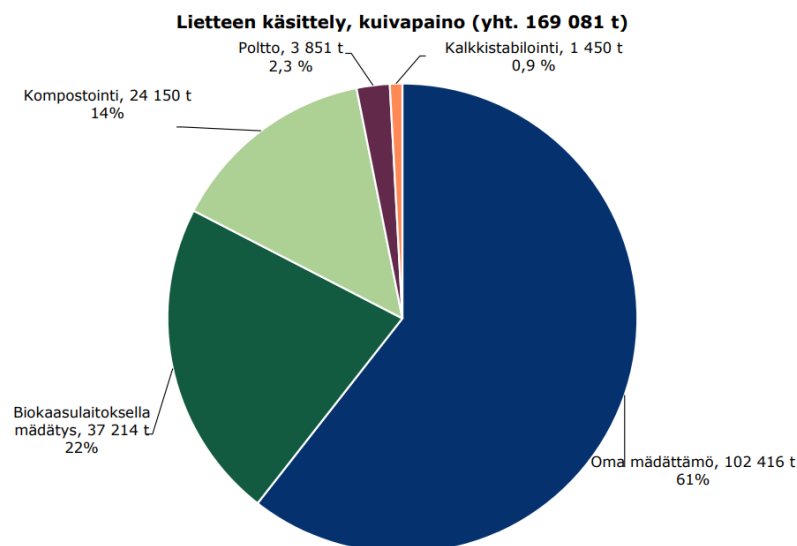
3. Lietteen käsittely ja jatkojalostaminen

Puhdistamolietteen käyttöä maataloudessa säädellään tarkasti, jotta sen käytöstä ei aiheutuisi vahinkoa ympäristölle tai ihmisten terveydelle. Vuonna 2023 puhdistamolietettä toimitettiin maatalouteen 70 500 kuiva-ainetonna ja viherrakentamiseen 59 000 kuiva-ainetonna (Vilpanen & Seppälä, 2025). Puhdistamolietteen käytöstä on kirjoitettu muun muassa ProAgrian toimesta opas [Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa](#) sekä Suomen Biokaasu ja biokierto ry:n toimesta opas [Kierrätyslannoitteiden käyttö peltoviljelyssä](#).

Ennen lannoitekäyttöä sellaisenaan, puhdistamoliete on käsiteltävä, jotta se täyttää [hygienia- ja laatuksiteerit](#). Liete voidaan käsitellä biologisesti kompostoimalla, mädättämällä tai vanhentamalla, kemiallisesti kalkkistabiloinnilla tai happo-vetyperoksidikäsitelyllä, tai fysikaalisesti termisellä kuumentamisella. Myös lietteen polttaminen on mahdollista. Tyypillistä on lietteen käsittelyn ketjutus ja ulkoistaminen, jolloin vastuu lietteen hallinnasta siirtyy puhdistamolilta muulle taholle. (Ruokavirasto, 2025.)

Nykyisin Suomessa jätevesilietteet pääosin mädätetään tai kompostoidaan. Koska valtaosa lietteistä on peräisin jätevesilaitoksilta, joissa fosfori saostetaan rauta- tai alumiinisuoloilla, fosforia on vaikea erottaa lietteestä ja ottaa talteen erikseen. Lisäksi typpi poistetaan biologisesti, jolloin valtaosa siitä haihtuu puhdistusvaiheessa typpi-kaasuksi, eikä päädy lietteeseen.

Alla olevassa kuvaajassa 2 on kuvattu puhdistamolietteiden käsittelyä vuonna 2021. Kuvasta nähdään, että selkeästi yleisin lietteen käsittelytapa on mädättäminen, joko omalla mädättämöllä tai biokaasulaitoksella. Kompostointi, poltto ja kalkkistabilointi ovat selvästi vähemmän käytettyjä menetelmiä.



Kuvaaja 2. Lietteen käsittely kuivapainona vuoden 2021 YLVA tietojen perusteella (Ympäristöministeriö, 2023.)

Puhdistamolietedirektiivi (Sewage Sludge Directive) on tämän raportin kirjoitushetkellä päivitysvaiheessa, mutta uudistukselle ei ole vielä esitetty tarkkaa aikataulua. EU on kuitenkin tiedustellut jätevedenpuhdistamoilta näkemyksiä vaihtoehdosta, jossa kaikki puhdistamoliete olisi käsiteltävä polttamalla. Tätä linjausta on arveltu harkittavan erityisesti siksi, että direktiivin päivityksessä keskeisiä teemoja ovat mikromuovien ja lääkejäämien vähentäminen lietteestä ja niihin liittyvien riskien pienentäminen maataloudessa. Korkean kosteusprosentin vuoksi polttaminen edellyttäisi kuitenkin merkittävää ulkopuolista energiansyöttöä. Lisäksi uusi yhdyskuntajätevesidirektiivi asettaa jätevedenpuhdistamoille tiukat energiaomavaraisuustavoitteet, mikä ohjaa lietteen käsittelyä enemmän mädätyksen kuin polton suuntaan.

Nykytilanne ravinteiden talteenotolle yhdyskuntajätevesien puhdistamolietteestä on haasteellinen. Ravinteista fosforin talteenoton kannalta haasteena on fosforin kemiallinen saostus rautasuoloilla ja typen kannalta typen

biologinen poisto, joissa typpikaasu vapautuu ilmakehään. Lisäksi lietteen tyypilliset käsittelymenetelmät, mädätys ja kompostointi, ovat todettu toimiviksi tavoiksi käsitellä lietettä. (Mikola, 2025.)

Ravinteiden talteenottoon ja jalostamiseen on kehitetty useita menetelmiä, joilla on erilaisia teknisiä valmiusasteita sekä haasteita hidastamassa laajempaa käyttöönottoa. Struviitin saostus biologisen puhdistusprosessin lietteestä nähdään yhtenä teknisesti valmiimmista ratkaisuista, jolla voitaisiin saada talteen arviolta 15–30 % lietteen sisältämästä fosforista. Kannattavuuden lisäämiseksi lannoitealan sääntelyä olisi kehitettävä tukemaan paremmin kiertolannoitetoimijoita ja markkinoille tulisi saada uusia yrityksiä sekä toimijoita kehittämään soveltuvia tuotteita ja edistämään kilpailua. (Mikola, 2025.)

4. Struviitin kiteytys Bio-P-puhdistamolietteestä

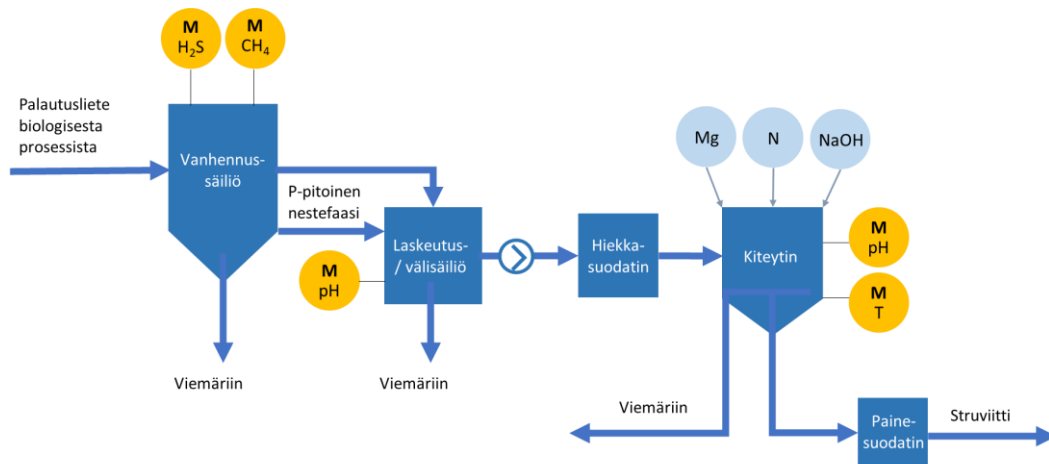
Struviitin eli magnesiumammoniumfosfaatin kemiallinen kaava on $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ja reaktiokaava esitetty kaavassa 1. Struviitti kiteytyy pH alueella 8–11, alkuaineiden P:N:Mg moolisuhteessa 1:1:1. Muodostuvat kiteet vaihtelevat valkoisesta keltaiseen ja harmaaseen. Sopivissa olosuhteissa struviittia voi alkaa kiteytyä missä tahansa ja muodostuva sakka aiheuttaa ongelmia, kuten tukkeumia jätevedenpuhdistamoilla tai biokaasulaitoksilla.

Struviitin muodostumisen reaktiokaava



Globaalisti struviitin saostaminen nähdään yhtenä potentiaalisimmista vaihtoehtoista fosforin talteenottoon, erityisesti talteenottoteknologian valmiuden sekä struviitin hyvien lannoiteominaisuuksien, kuten hitaan liukenevuuden vuoksi. Markkinoilla on useita kaupallisia laitteistovalmistajia struviitin kiteyttämiseen erilaisista sivuvirroista, kuten biokaasulaitosten rejektivesistä. BioStruvi-hankkeessa keskitytään tarkastelemaan struviitin kiteyttämistä suoraan biologista fosforinpoistoa (Bio-P) hyödyntävän jätevedenpuhdistamon palautuslietteestä eli selkeytyksestä ilmastuksen alkuun kierrätettävästä lietteestä (katso kuva 1). On huomioitava, että teollisessa mitataavassa palautuslietteen hyödyntäminen struviitin kiteytykseen ei ole mahdollista, sillä aktiivilieteprosessi vaatii palautuslietteen kierrättämistä prosessin sisällä, eikä sitä voi ottaa pois prosessista. Käytännössä struviittia voitaisiin saostaa puhdistamolta poistettavasta ylijäämälietteestä, joka sisältää hieman palautuslietettä vähemmän fosforia, mutta jonka massavirrat ovat huomattavasti suurempia.

Kuvassa 3 on esitetty Huittisten Puhdistamolle rakennettu struviitin kiteytyksen pilot-laitteiston prosessikaavio. Mittauksista jatkuvatoimisia ovat kiteyttimen lämpötilan ja pH mittaukset. Vanhennussäiliössä lieteen PAO mikrobit vapauttavat fosfaatin nesteeseen anaerobisissa olosuhteissa. Laskeutussäiliössä kiintoainetta erotetaan nestejakeesta polymeerin avulla ja hiekkasuodatin parantaa kiintoaineen poistoa. Kiteyttimeen lisätään magnesiumia ja tarpeen mukaan typpeä, sekä säädetään prosessiparametrin kuten pH optimaaliseksi esimerkiksi lipeän avulla. Kun kiteytintä on sekoitettu ja muodostuneen struviitin on annettu painua kiteyttimen pohjalle, neste suodatetaan painesuodattimen läpi ja struviittisakka jää suodatinpussiin. Ylijäävä neste palautetaan jätevedenpuhdistusprosessiin, sillä se sisältää yhä jonkin verran fosforia sekä typpeä.



Kuva 3. Struviittikiteytyksen prosessikaavio Huittisten Puhdistamolla.

Kuvassa 4 on esitetty panostaminen struviitin kiteytyksen pilot-laitteisto Huittisten Puhdistamolla. Pilot-laitteistossa vasemmalla takana sijaitsee lietteen ravinteiden vapauttamissäiliö, vasemmalla edessä IBC-kontti lietteen laskeutukseen, oikealla edessä sininen hiekkasuodatin ja oikealla takana kiteytin. Laitteistoon kuuluu myös kuvan ulkopuolelle jäävä painesuodatinlaitteisto.



Kuva 4. Struviittikiteytyksen pilot-laitteisto Huittisten Puhdistamolla.

Arvioiden mukaan Euroopassa hukataan jätemateriaaleina ja jätevesilietteiden kautta 34,6 % käytössä olevasta fosforista (Zhao, 2025). Jätevesissä olevassa fosforissa on suuri potentiaali hyötykäyttöön erityisesti Suomessa, jossa Bio-P-prosessi ja fosforin talteenotto jätevesiprosesseista ovat harvinaisia.

4.1. Struviittikiteytyksen kehittäminen Huittisten jätevedenpuhdistamolla

Huittisten Puhdistamolla sijaitsevan struviitin kiteytyksen pilot-laitteiston koeprosessia on pyritty kehittämään hankkeiden aikana. Pilot-laitteiston ja sillä tehtävillä koeajoilla on tarkasteltu pääasiassa Bio-P-palautuslietteen toimivuutta struviitin kiteytyksen lähtöaineena. Markkinoilla on useita kaupallisia struviitin kiteytykseen tarkoitettuja laitteistoja, eikä pilot-laitteistoa ole suunniteltu uudeksi markkinoille tähtääväksi ratkaisuksi. Tarkoituksena on kehittää prosessia niin, että struviitin kiteytys lietteestä onnistuisi mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti ja että kaikki muodostunut struviitti saataisiin talteen.

Haasteeksi pilot-laitteistolla on huomattu suodatustehokkuus, sillä erinomaisesta 80–95 %:n fosfaattireduktiosta huolimatta, struviittisakkaa on saatu talteen huomattavasti vähemmän kuin fosfaattireduktioon perustuvien laskeumien mukaan struviittia voisi muodostua. Vaihtaminen tiheämpään suodatinkankaaseen ei tuonut toivottavaa tulosta, joten suodatuksen tehostamista pyritään kehittämään myös jatkossa.

Prosessiolosuhteita pyrittiin kehittämään struviitin saostukselle kirjallisuudesta ja käytännöstä opittujen optimaalisten olosuhteiden suuntaan. Struviitin kidekoon kannalta optimaalinen lämpötila olisi huoneenlämpö, eli noin 25 °C. Käytännössä koko puhdistamorakennukseen huoneilmaa ei ole kannattavaa alkaa säätämään pilot-laitteiston vuoksi. Kiteytymässä optimaalinen pH struviittikiteiden muodostumiseen on 8–11, ja suurimpia kiteitä muodostuu pH ollessa hieman yli 8. Optimaalinen sekoitusaika on yhdestä tunnista 12 vuorokauteen, ja suurimpia kiteitä syntyy pidemmillä kierrätysajoilla. Käytännön syistä pilot-kokeissa sekoitusaika on toistaiseksi vaihdellut yhdestä neljään tuntiin.

Suurin haaste liittyy kuitenkin mikrobien sisältämän fosfaatin vapauttamiseen. Huoneenlämmössä hapettomissa olosuhteissa PAO-mikrobeilta kestää noin 1–2 viikkoa vapauttaa sitomansa fosfaatti lietteen nestefaasiin. Ravinteiden vapauttamisen nopeuttamista ja hankkeessa testattuja ja tarkasteltuja vaihtoehtoja on esitetty tarkemmin kappaleessa 4.3.

4.2. Polymeerien testaaminen

Lannoitteen valmistuksessa käytettävät kemikaalit eivät saa aiheuttaa kontaminaatiota valmiin tuotteen kanssa. Tämän vuoksi EU-lainsäädäntö (1009/2019) edellyttää neste-kiinteä-erotuksessa mahdollisesti käytettävien polymeerien biohajoavuutta. EU-lannoitteeksi hyväksytty struviitti ei saa sisältää synteettisten PAM-polymeerien jäämiä, mikäli niille ei ole lannoitehyväksyntää tai ne eivät ole REACH-rekisteröityjä. Polymeerien sijaan lietteen erotuksessa nestejakeesta voisi käyttää myös esim. sentrifugia, tai tämän, laskeutuksen ja suodatuksen yhdistelmää.

Hankkeen aikana testattiin laboratoriomittakaavassa erilaisia polymeerejä ja niiden toimivuutta Bio-P-lietteen sekä biokaasulaitoksen rejektin kiintoaineiden saostukseen. Polymeeritestaukseen päätyi ammattilaisten suosittelemia yleisesti jätevedenpuhdistamoilla käytettyjä polymeerejä, joita testattiin eri annostuksilla.

Huittisten Puhdistamon Bio-P-palautuslietteen testauksessa, Hyxon ja Soleniksen toimittamat kationiset eli positiivisesti varautuneet Zetag-polymeerit saostivat suhteellisen hyvin kiintoainetta lietteestä, kuten kuvasta 5 voidaan nähdä. Polymeerien välillä oli eroja siinä, miten hyvin saostunut kiintoaine laskeutui ja kuinka pysyvän sakan se muodosti. Jätevedenpuhdistamoilla ja jätevesilietteen yhteydessä käytetään juuri positiivisesti varautuneita

kationisia polymeerejä, sillä liete on lievästi negatiivisesti varautunutta. Negatiivinen varaus johtuu lietteen sisältämien hiukkasten, kuten mikrobien, solurakenteesta. Negatiivisesti varautuneet hiukkaset hylkivät toisiaan ja kationinen eli positiivisesti varautunut polymeeri saa ne tarttumaan toisiinsa.



Kuva 5. Zetag-polymeerien kiintoaineen saostustestien tulokset Bio-P-lietteellä.

Polymeeritestejä toteutettiin myös Uudessakaupungissa sijaitsevan Biolinjan biokaasulaitoksen rejektivedelle. Biolinjan biokaasulaitos käsittelee erilaisia jakeita, kuten kauppojen, ravintoloiden ja kotitalouksien pakattua ja pakkaamatonta biojätettä, rasvoja ja proteiinipitoisia jätteitä, vihannes- ja puutarhajätteitä, eläinlainta, meijeri- ja panimoteollisuuden jätteitä sekä elintarviketeollisuuden 3. luokan sivutuotteita. Määdäjäännöksestä erotettu rejekti oli hyvin tummaa eli se sisälsi huomattavan paljon kiintoainetta. Rejektiin testattiin osittain samoja ja osittain eri polymeerejä kuin Bio-P-lietteeseen. Mikään testatuista polymeereistä ei kuitenkaan saostanut kiintoainetta rejektistä vastaavalla tehokkuudella kuin Bio-P-lietteen kanssa, kuten on kuvasta 6 on nähtävillä. Rejektiä pyrittiin myös suodattamaan ja laimentamaan ennen polymeerin lisäystä, ja tällä saavutettiin hieman parempia tuloksia kiintoaineen saostamisessa. Kokonaisuudessaan kiintoainetta ei saatu saostettua pois niin paljoa, että tuloksena olisi ollut pilot-laitteistolle sopivaa kirkasta nesteä, sillä kiintoainepitoinen neste tuottaa hiilipitoista, epäpuhdasta struviittisakkaa. Aiemmissa hankkeissa testattu sian lietelantaa käsittelevän Emomyllyn biokaasulaitoksen rejekti käyttäytyi samalla tavalla – mikään testatuista polymeereistä ei toiminut toivotulla tavalla.



Kuva 6. Näytteet laimennetusta ja suodatetusta Haarlan biopolymeerillä sekä kitosaanilla testatusta Biolinjan rejektistä.

Haaste, mitä vielä ei ole ratkaistu, on kationisten polymeerituotteiden biohajoavuustestaus. Kationisen varauksen vuoksi jotkin standardisoidut testimenetelmät eivät yksinkertaisesti toimi, koska kationinen varaus aiheuttaa näytteen adsorboitumista pintoihin ja myös inhiboi mikrobien toimintaa flokkaamalla niitä (Ahlgren, 2025.) Siksi käytössä on ollut biohajoavia polymeerejä, kuten äyriäisten kuorista saatavaa kitosaania, tärkkelysmodifioituja polymeerejä tai selluloosajohdannaisia. Esimerkiksi kitosaania testattiin aiemmassa [BioP-Rec-hankkeessa](#), jolloin sen todettiin toimivan hyvin kiintoaineen saostuksessa. Käyttöominaisuuksiltaan kitosaani oli kuitenkin haastava käyttää, sillä se pitää ensin liuottaa happoon tai emäkseen ja se on polymeerituotteeksi kallis.

Pilot-laitteistolla on käytetty muun muassa Haaran tanniinipohjaista biopolymeeriä, jonka on todettu toimivan hyvin Bio-P-lietteen laskeutukseen. Haaran biopolymeerin tanniini on peräisin Etelä-Amerikasta, mutta esimerkiksi suomalaisessa selluntuotannossa hyödynnetyn kuusen kuoresta voitaisiin valmistaa tanniinia teollisuuden tarpeisiin (Niiranen, 2025).

4.3. Bio-P-lietteen ravinteiden vapautuksen nopeuttaminen

Bio-P-lietteen fosforin vapautumista voidaan nopeuttaa sekä fysikaalisilla että kemiallisilla menetelmillä. Fysikaalisista menetelmistä UV-säteily heikentää PAO-mikrobien solurakenteita ja ultraääni rikkoo kiintoainetta kavitaaation avulla tehostaen hydrolyysiä. Kemiallisia menetelmiä ovat esimerkiksi orgaanisten lisäaineiden käyttö sekä happo- ja emäskäsittely, jotka muuttavat lietteen kemiallista rakennetta ja vapauttavat polyfosfaattia liukoiseen muotoon. Myös hapettimia, pelkistimiä ja metalli-ioneja voidaan hyödyntää katalysoimaan reaktioita. Aikaisemmassa BioP-Rec-hankkeessa tutkittiin muun muassa ultraääntä ja orgaanisia lisäaineita ravinteiden vapautuksen nopeuttamiseen.

4.3.1 Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen ultravioletivalolla

Kirjallisuuden perusteella ultraviolettilähteen vaikutus mikrobistoon riippuu altistusajasta ja säteilyn tehosta. UV-C-säteilyn aallonpituus on tyypillisesti 254 nm ja energiasisältö 100–1000 mJ/cm². UV-säteily ei välttämättä tapaa mikrobeja suoraan (Lehtola et al. 2003), mutta voi estää esimerkiksi PAO-bakteerien kasvua ja lisääntymistä (Hao et al. 2021). Erityisesti UV-C-säteilyn on havaittu vaikuttavan PAO-mikrobien varastoihin polyfosfaatteihin, jolloin syntyy hydroksyyli- ja dikarboxyyliryöpyä, jotka puolestaan edistävät mikrobien inaktivointia (Zhou et al. 2013).

Useiden tutkimusten mukaan UV-C-säteily voi lisäksi hajottaa orgaanista fosforia ortofosfaatiksi. Tutkimustietoa UV-C-säteilyn käytöstä Bio-P-prosessin jätevesilietteen ravinteiden vapauttamisessa ja vaikutuksista polyfosfaattimikrobeihin ravinteiden talteenoton näkökulmasta on toistaiseksi hyvin niukasti saatavilla. Valoon perustuvat ratkaisut ovat myös haastavia lietteellä, sillä kiintoainekset estävät valon kulkeutumista lietteessä.

4.3.2 Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen lämpötilaa nostamalla

Lämpötilan vaikutusta PAO-mikrobien toimintaan on tutkittu paljon. Erityisesti on tutkittu lämpötilan vaikutusta fosforin sitoutumiseen mikrobeihin, ja optimaaliseksi lämpötilaksi mikrobitoiminnalle on todettu 15–20 °C. Vähemmän on kuitenkin tutkittu lämpötilan vaikutusta fosfaatin vapauttamiseen mikrobeista.

Alan kirjallisuutta tutkimalla voidaan todeta, että Bio-P-lietteen lämmittäminen noin 50–70 °C lämpötilaan 1–3 tunnin ajaksi on todettu edistävän fosfaatin vapautumista nestefaasiin ilman lietteen merkittävää hajoamista ja

60 °C on pidetty optimaalisena lämpötilana. Ilman lisäaineita kokonaisfosforista noin 30 % on saatu vapautettua ortofosfaatiksi. Lämpö saattaisi siis olla erinomainen ratkaisu Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttamiseen.

Lämpötilan noston haaste on korkea energiantarve. Ilman edullista lämmönlähdettä, kuten jätevesilämpöpumpua tai lietteestä tuotetun biokaasun polttamista, lämpötilan nostaminen saattaa tehdä ravinteiden talteenotosta taloudellisesti kannattamatonta.

4.3.3 Bio-P-lietteen ravinteiden vapauttaminen ympin avulla

Kirjallisuuden mukaan uudelleenkäytettävän bakteeriviljelmän eli ympin lisääminen Bio-P-lietteeseen voi nopeuttaa fosfaatin vapautumista lietteestä. Ympin lisäämisellä toivottua mikrobitoimintaa siirretään uuteen kasvuympäristöön. Tällä pyritään tasoittamaan mikrobipopulaatiota ja ylläpitämään fosforin vapautumiseen sopivaa mikrobitoimintaa jatkuvasti syötteen kiertäessä, eli lietteen poistamisen ja uuden lisäämisen yhteydessä.

Bio-P-lietteen kohdalla lisättävä ymppe voi olla esimerkiksi puhdistamolietettä tai biokaasulaitokselta saatavaa mädätettä, jonka sisältämät mikrobit edistävät tuorelietteen mikrobitoimintaa, nopeuttaen fosfaatin vapautumista. Asiaa tutkittiin myös hankkeessa Tampereen Yliopistolta tilatussa selvityksessä, jonka tulokset on esitetty kappaleessa 5.

4.4. Kansallinen ja Euroopan Unionin lannoitelainsäädäntö ja struviitti

Lannoitteiden tuotantoa Suomessa ohjaa kotimainen sekä Euroopan unionin tasoinen lannoitelainsäädäntö. Lisäksi kierrätyslannoitteisiin liittyy oma lainsäädäntönsä. Suomessa lannoitevalmisteiden turvallisuutta valvoo Ruokavirasto. Lannoitelainsäädäntöä sekä sivutuotteita koskevia asetuksia on myös koottu [Ruokaviraston nettisivuille](#). Esimerkiksi [European Phosphorus Platform \(EPP\)](#) työskentelee jatkuvasti kierrätyslannoitteita suosivan lainsäädännön puolesta.

Suomessa markkinoitavia lannoitevalmisteita voi valmistaa kansallisen lannoitelainsäädännön tai EU:n vaatimusten mukaisesti. Talouden toimija voi päättää, valmistaako lannoitetuotteita kotimaisille markkinoille vai CE-merkittyjä tuotteita kansainvälisille markkinoille. Sama laitos voi valmistaa tuotteita sekä kansallisten että EU-lannoiteasetuksen vaatimusten mukaisesti. Lannoitevalmisteita voi saattaa markkinoille myös [vastavuoroisen tunnustamisen](#) perusteella.

Kotimaista lannoitelainsäädäntöä ohjaa lannoitelaki ja useat asetukset. Suomalainen lannoitelainsäädäntö perustuu lannoitteiden jakamiseen [tuoteluokkiin sekä ainesosaluokkiin](#). Kaikkien lannoitteen osien on löydettävä hyväksytyltä listalta sekä täytettävä tietyt laatuvaatimukset. Tuoteluokille, kuten lannoitteille, maanparannusaineille ja biostimulanteille annettuja vaatimuksia ovat muun muassa ravinteiden vähimmäispitoisuudet sekä haitallisten aineiden ja taudinaiheuttajien enimmäispitoisuudet. Lannoitevalmisteiden on koostuttava sellaisista ainesosista, kuten mädätteestä tai teollisuuden sivutuotteista, jotka täyttävät annetut laatu- ja käsittelyvaatimukset. Vaatimuksia annetaan myös ainesosaluokakohtaisesti, esimerkiksi ainesosien käsittelymenetelmille, käytönrajoitteille, käsiteltyjen ainesosien stabiilisuudelle sekä haitallisten aineiden, taudinaiheuttajien ja epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksille.

Kotimaisen lannoitelainsäädännön mukaan struviitti vastaisi koostumukseltaan luokkaa 1C1.2. Moniravinteinen pääravinnelannoite, mutta struviittia ei ole Suomessa rekisteröity lannoitevalmisteeksi. Kierrätyslannoitteen valmistaminen tai maahantuonti vaatisi sekä toimijan että tuotteen [rekisteröinnin Ruokavirastolle](#). Jos struviitti valmistetaan jätevesilietteestä, raaka-aine kuuluu kansallisen sääntelyn ainesosaluokkaan 10 Käsitelty jätevesiliete, ja liete on käsiteltävä hyväksytyllä menetelmällä ennen käyttöä. Lannoitevalmisteena käytettävät jätevesilietteet on käsiteltävä kompostoimalla, mädättämällä, kalkkistabiloimalla, vanhentamalla vähintään 2 vuotta, termisesti kuivaamalla tai happo- ja emäskäsittelyllä. Käsitellyn jätevesilietteen on täytettävä ainesosaluokakohtaiset vaatimukset hygieenisyyden, epäpuhtauksien ja stabiilisuuden osalta. Hygieenisyyksivaatimukset koskevat *Salmonella spp.* -bakteerin puuttumista sekä *Escherichia coli*- tai *Enterococcaceae*-bakteerien enimmäispitoisuuksia. Epäpuhtausvaatimukset koskevat haitallisia aineita ja raskasmetalleja, ja stabiilisuusvaatimukset määräytyvät lietteen käyttötarkoituksen mukaan. Stabiilisuuskriteerit on asetettu kompostoidulle ja mädätetylle lietteelle ja niillä varmistetaan, että materiaali ei käy, lämpene, haise tai aiheuta mikrobikasvua käytön jälkeen.

EU-asetuksen mukaiset CE-merkityt lannoitetuotteet jaotellaan toimintaperusteisiin [tuoteluokkiin \(PFC\) sekä ainesosaluokkiin \(CMC\)](#). Vaatimustenmukaisuuden arviointi toteutetaan eri moduuleissa, tuoteluokasta ja ainesosaluokasta riippuen. Tuoteluokittain on asetettu vaatimukset tuotteiden käyttötarkoitukselle ja ominaisuuksille. Lisäksi tuoteluokittain on asetettu raja-arvot haitallisten metallien ja taudinaiheuttajien enimmäismäärille. Asetuksessa on myös määritelty, mistä ainesosaluokista (CMC) eri tuoteluokkiin kuuluvat CE-merkityt lannoitevalmisteet saavat koostua. Ainesosaluokissa on lueteltu sallitut raaka-aineet ja käsittelyä vaativien raaka-aineiden osalta vaatimukset käsittelymenetelmille.

EU-asetuksen mukaan struviitti kuuluu PFC luokkaan 1.C. Epäorgaaninen lannoite ja CMC luokkaan 12. Saostuneet fosfaattisuolat ja -johdannaiset (struviitti). Vaikutusten arvioinnissa kyseisen ainesosaluokan tuotteet kuuluvat moduulin D1, joka tarkoittaa sitä, että valmistaja laatii ensin tekniset asiakirjat ja sen jälkeen valmistaa lannoitevalmisteen. Valmistaja ottaa yhteyttä ilmoitettuun laitokseen, joka tarkastaa valmistajan laatiman laatujärjestelmän. Laatujärjestelmän tulee kattaa EU lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset. Mikäli laatujärjestelmä on vaatimusten mukainen, valmistaja laatii EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja kiinnittää tuotteen CE-merkinnän. Laatuvaatimusten osalta haitallisten aineiden enimmäispitoisuuksista ja hygieniavaatimuksista on säädetty tuoteluokittain (PCF). Näitä ovat haitallisten metallien enimmäispitoisuuksia koskevat raja-arvot sekä mikrobiologiset laatuvaatimukset.

EU-asetuksessa saostetut fosfaattisuolat, muodostavat siis oman ainesosaluokansa, CMC 12. Tämä mahdollistaa, että tuotteen vaatimustenmukaisuus arvioidaan valmiin struviitin osalta, eikä koko lietteen hygienisointia vaadita erikseen, kunhan lopputuote täyttää asetetut hygieni- ja laatuvaatimukset. CE-merkinnän saanti vaatii laitoksen hyväksyntää, eli teollisen mittakaavan laitoksen rakentamista ennen sen valmistaman tuotteen arviointia.

EU-lannoiteasetuksen mukainen tuotanto on vaatimustenmukaisuuden ja raportoinnin kannalta varsin raskas prosessi. Siksi monet toimijat valitsevat käyttää kansallista lannoitelainsäädäntöä, joka on hallinnollisesti kevyempi mutta asettaa usein tiukemmat vaatimukset itse tuotteen laadulle. Esimerkiksi Suomessa puhdistamoliettä ei saa hyödyntää struviitin valmistukseen suoraan jätevedenpuhdistamolta, vaan se on käsiteltävä esimerkiksi mädättämällä ennen kuin sitä voidaan käyttää lannoitevalmisteena.

5. Bio-P-lietteen ravinteiden vapautuksen nopeutus ympin avulla

Hankkeessa teetettiin Tampereen yliopistolla tutkimus, jossa selvitettiin, voidaanko mikrobimassan eli ympin lisäyksellä nopeuttaa fosfaatin ($\text{PO}_4\text{-P}$) ja ammoniumtyypen ($\text{NH}_4\text{-N}$) vapautumista Bio-P-lietteen PAO-mikrobeista anaerobisissa olosuhteissa. Kokeet toteutettiin sekä panoskokeina että jatkuvatoimisissa bioreaktoreissa. Ympinä käytettiin biokaasulaitoksen mädätettä sekä 100 °C:ssa lämpökäsiteltyä mädätettä Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta. [Tulosraportti](#) on saatavilla hankkeen verkkosivuilta.

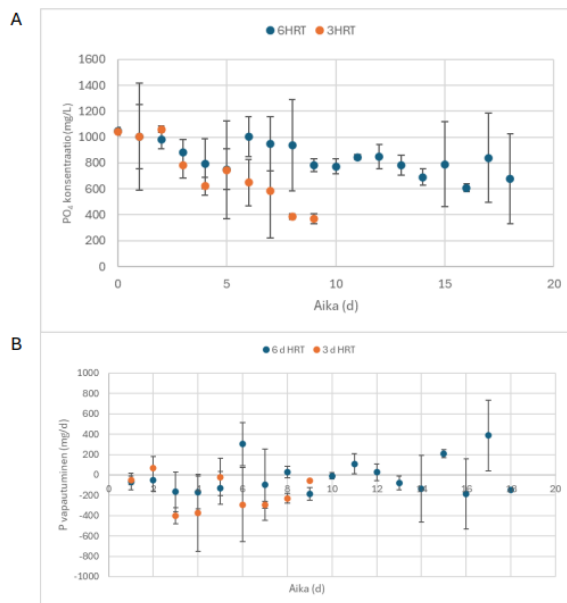
Panoskokeet tehtiin suljetuissa pulloissa ilman uutta syöttöä kokeen aikana. Liuosfaasista otettiin säännöllisesti näytteitä, joista analysoitiin pH, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, VFA:t, liukoinen COD ja kaasun koostumus. Tavoitteena oli, että pH laskee alle 6,5 ennen metaanintuotannon käynnistymistä, jotta fosforin vapautuminen olisi mahdollista.

Pulloissa, joissa käytettiin ympinä mädätettä tai lämpökäsiteltyä mädätettä, fosfaatin pitoisuus ei noussut. Todennäköinen selitys on, että mädäde oli peräisin laitokselta, joka käsittelee kemiallisesti saostettua puhdistamoliettä. Se on siten todennäköisesti sisältänyt rautasuoloja, joka ovat sitonut vapautuvaa fosfaattia.

Panoskokeiden tavoitteena oli biolietteen hydrolyysi; eli solurakenteiden ja orgaanisen aineksen hajottaminen liukoisiksi yhdisteiksi. Tämä näkyi liukoisien COD:n nousuna sekä kontrollipulloissa että lämpökäsiteltyä mädätettä sisältäneissä pulloissa ensimmäisten neljän päivän aikana. Metaanintuotanto käynnistyi noin viiden päivän jälkeen, ja fosfaattia vapautui eniten kuuden ensimmäisen päivän aikana. Näiden tulosten perusteella reaktorikokeisiin valittiin viipymät 3 ja 6 päivää, koska lyhyt viipymä rajoittaa metaanintuotantoa ja mahdollistaa mallintamisen siitä, kuinka nopeasti fosfori voidaan vapauttaa ennen metanogeenien aktivoitumista.

Reaktorikokeet suoritettiin puolijatkuvatoimisessa bioreaktorissa, johon syötettiin biolietettä panoskokeissa määritellyllä kuormituksella ja viipymällä. Reaktorissa pyrittiin pitämään pH pysyvästi alle 6,5. Reaktorista analysoitiin säännöllisesti $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, VFA:t, liukoinen COD ja kaasun koostumus. Reaktorissa liukoisien COD:n pitoisuus pysyi koko kokeen ajan varsin vakaana.

Lyhyellä viipymällä (3 d) $\text{PO}_4\text{-P}$ -konsentraatio laski lähes koko koeajan. Pidemmällä viipymällä (6 d) fosfaatin määrä vaihteli, mutta nousi selvästi kokeen loppuvaiheessa. Tämä viittaa siihen, että fosforin vapautuminen on riippuvainen biolietteen hydrolyysistä ja että reaktorissa tarvitaan pidempi ajoaika ja siihen soveltuva mikrobisyhteisö. Kolme peräkkäistä koeajoa per viipymä ei riittänyt mikrobien vakiintumiseen, mikä näkyy tulosten vaihteluna. Fosforin liukenemisen nousu pidemmän viipymän lopussa tukee oletusta, että pidempi jatkuva ajo parantaisi hydrolyysiä ja siten myös fosforin vapautumista. Tulokset on esitetty kuvaajassa 3.



Kuvaaja 3. Liukoisen fosfaatin konsentraation muutokset reaktorissa (A), sekä fosforin vapautuminen biolietteestä (mg/d) (B) kahdella eri biolietteen viipymällä (Kokko ym. 2025.)

Lyhyestä viipymästä huolimatta reaktorikokeissa syntyi selvästi metaania. Kokeen loppuvaiheessa metaanin osuus kaasufaasissa oli 32 % sekä 3 että 6 vuorokauden viipymällä. Metaania tuotettiin 3 d viipymällä noin 0,15 L ja 6 d viipymällä noin 0,65 L. Vaikka lyhyen viipymän olisi periaatteessa pitänyt vähentää hitaasti kasvavien metanogeenien määrää reaktorissa, tulokset viittaavat siihen, että syötteessä olleet metanogeenit aktivoituivat nopeasti pH:n nousun myötä. Hiilidioksidin määrä kaasufaasissa oli 3 d viipymällä 8 % ja 6 d viipymällä 21 %, mikä osoittaa kaasuntuotannon olleen aktiivista molemmissa olosuhteissa, vaikka metaanintuotto oli lyhyemmällä viipymällä selvästi vähäisempää.

Jatkossa olisi perusteltua tutkia, paraneeko fosforin vapautuminen pidemmällä jatkuvilla ajoilla, joissa reaktorin mikrobiyhteisö ehtii vakiintua biolietteen hydrolyysiä tukevaan suuntaan. Jos ympäriä käytetään, sen alkuperä on valittava huolellisesti, jotta se ei sisältäisi rauta- tai alumiinisuoloja, jotka sitoisivat liukoisen fosfaatin.

6. Struviitin kiteytyksen potentiaali jätevedenpuhdistamolla

Hankkeessa haluttiin selvittää teoreettista fosforin kokonaissaantoa ylijäämälietteestä Huittisten jätevedenpuhdistamolla. Työkaluna käytettiin vapaasti ladattavissa olevaa STAN2WEB mallinnusohjelmaa.

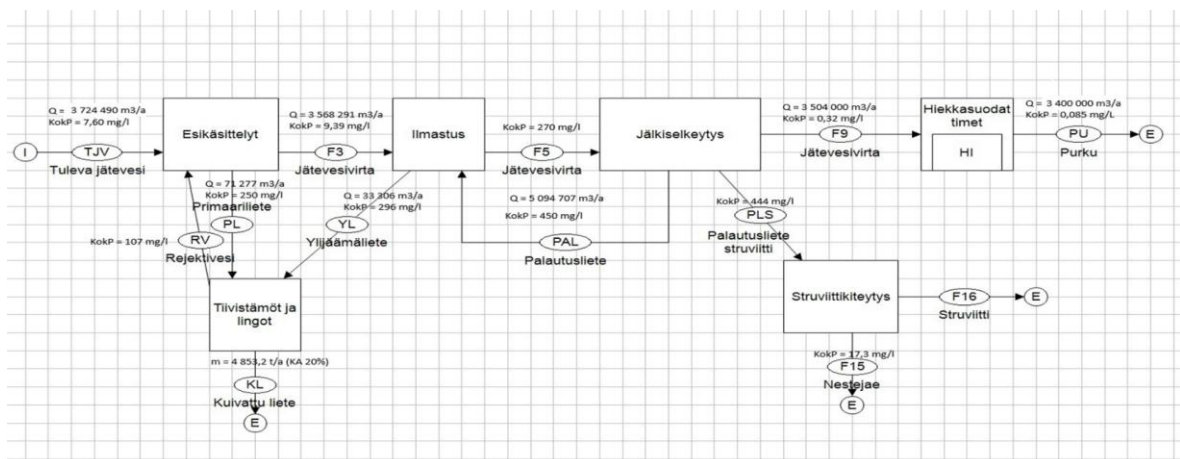
Tällä hetkellä pilot-laitteistolla käsiteltävä liete otetaan palautuslietelinjasta. Palautuslietettä ei kuitenkaan voida hyödyntää teollisen mittakaavan struviitinkiteytykseen, koska se on oleellinen osa itse Bio-P-prosessin toimintaa, kuten kuvassa 1 aiemmin esitettiin. Ilmastuksesta poistettavan ylijäämälietteen voisi hyödyntää kokonaisuudessaan struviitinkiteytyksen raaka-aineena, mutta sen ohjaaminen prosessista pilot-laitteistolle ei ole yhtä yksinkertaista kuin palautuslietteen. Tällä hetkellä ylijäämäliete sekoitetaan primäärilietteeseen tiivistä-

mössä ja johdetaan lingoille kuivaukseen. Sieltä rejektivesi, joka sisältää myös paljon liukoista fosforia, palautetaan takaisin puhdistusprosessiin ja 20 % kuiva-ainepitoisuuteen kuivattu liete kuljetetaan lieteautolla Gasumin biokaasulaitokselle mädätykseen.

Huittisten Puhdistamolle tulevasta fosforikuormasta voidaan arvioida struviittipotentiaalia, kun oletetaan että Bio-P-prosessi toimii ympärivuotisesti. Struviittikiteytyksen raaka-aineeksi tarkastelussa valittiin ilmastuksesta tiivistämöille johdettu ylijäämäliete. Se sisältää noin 9,99 tonnia fosforia vuodessa, mikä vastaa 35 % puhdistamolle tulevasta kokonaisfosforikuormasta.

Kirjallisuuden ja hankkeessa toteutettujen mittausten perusteella ylijäämälietteestä voidaan vapauttaa liukoista fosforia noin 150–250 mg/l. Tällä vapautumistasolla ylijäämälietteen fosforista voidaan saada talteen struviittina arviolta 50–83 %. Tämä vastaa 17,6–29,4 % koko puhdistamolle tulevasta fosforikuormasta, struviittisaannon ollessa noin 12,9–21,5 tonnia vuodessa.

Saanto voisi kasvaa olennaisesti, jos myös primäärietteen sisältämä fosfori saataisiin liukoiseen muotoon. Käytännössä tämä on mahdollista vain anaerobisen mädätyksen kautta, sillä primäärietteen fosfori on pääosin orgaanisissa yhdisteissä eikä sovellu suoraan struviitin kiteyttämiseen ilman merkittävää lisäkäsitelyä. Kuvassa 7 on esitetty Huittisten Puhdistamon fosforivirrat, johon nämä arviot perustuvat. Kuvan arvot perustuvat viranomaisille raportoituhiin lukuihin sekä hankkeessa toteutettuihin mittauksiin.



Kuva 7. Huittisten Puhdistamolle tuleva fosforimäärä jätevesissä ja lietteissä sekä tämänhetkinen struviitin-kiteytyslaitteisto.

Tarkastelua voisi suorittaa myös muista puhdistusprosessin osista, huomioiden vaikutukset koko puhdistusprosessin kannattavuuteen. Esimerkiksi Huittisten puhdistamolla lingoilta prosessiin palautettava rejektivesi aiheuttaa melko suurta sisäistä kuormitusta.

7. Struviitin kiteytys Huittisten puhdistamon Bio-P-lietteestä

BioStruvi-hankkeen aikana, kesällä ja syksyllä 2025, toteutettiin kymmenen koeajoa Huittisten puhdistamon Bio-P-palautuslietteellä. Koeajoissa testattiin erilaisia polymeerejä kiintoaineen laskeutukseen, erilaisia magnesiumin

lähteitä sekä saadun struviittisakan hyödyntämistä siemenkiteenä. Puhdistamon hyvin toiminut Bio-P-ajo mahdollisti useita koeajoja kesäkuusta lokakuuhun. Kuten edellisenä vuonna, fosforinsaostuskemikaalien syötön lopettamisen jälkeen kului useampi viikko, ennen kuin palautuslietteessä ei ollut enää kemikaalijäämiä ja fosfori alkoi vapautua lietteestä.

7.1. Toteutetut koeajot

Huittisten Puhdistamolla Bio-P-ajo kestää tyypillisesti kesäkuusta lokakuuhun. Kemikaalien käyttöä voidaan vähentää hulevesimäärän pienentyessä kevättulvien päättyessä ja kemikaalien lisästarve alkaa syksyn sateiden myötä hulevesien lisääntyessä. Testatun palautuslietteen laatu vaihteli luonnollisesti hieman puhdistamolle tulevan jäteveden laadun mukaan. Palautuslietteen todettiin olevan ravinnerikasta, liukoisen fosforin pitoisuuden vaihdellessa 260–600 mg/l ja ammoniumtyypen pitoisuuden 48–430 mg/l välillä.

Yhteenveto toteutetuista pilot-ajoista sekä niiden tuloksista on esitetty alla olevassa taulukossa 1. Erien jatkuva numerointi on peräisin aiemmista struviittihankkeista Sata-Ravinne sekä BioP-Rec. Tässä hankkeessa pilot-koeajoissa testattiin kahta eri polymeeriä, Haarlan biopolymeeriä sekä DPS Suproflock polymeeriä. Magnesiumin lähteitä oli kolme, hieno MgO, magnesiumheptahydraattipöly sekä magnesiumanhydraatti, jotka sisältävät eri määriä magnesiumia. MgO sekä magnesiumanhydraatti ovat magnesiumjalostusteollisuuden raaka-aineita, heptahydraattipöly puolestaan sivutuote.

Taulukko 1. Kesällä 2025 toteutetut struviitin saostuksen pilot-kokeet Bio-P-palautuslietteestä.

Erä	Polymeeri	Magnesium	Tyypillisäys	Fosfori-reduktio (%)	Sakka, kuivana (g)	Huomioita
Erä 15.	DPS	Mg(OH) ₂	-	81,1 %	170	
Erä 16.	DPS	anhydraatti	-	91,9 %	503	
Erä 17.	Haarla biopoly-meeri	hieno MgO	-	88,7 %	320	
Erä 18.	Haarla	heptahydraattipöly	-	92,1 %	125	
Erä 19.	DPS	heptahydraattipöly	-	86,7 %	380	
Erä 20.	Haarla	heptahydraattipöly	ammoniumsulfaatti	91,4 %	224	
Erä 21.	Haarla	hieno MgO	ammoniumsulfaatti		498	Siemenkiteeksi noin 200 g erän 20. struviittisakkaa
Erä 22.	Haarla	heptahydraatti	ammoniumsulfaatti	90,1 %	241	
Erä 23.	Haarla	heptahydraatti	ammoniumsulfaatti	89,8 %	264	Siemenkiteeksi noin 210 g erän 22. struviittisakkaa
Erä 24.	Haarla	anhydraatti	-	65,3 %		

Pilot-mittakaavan koeajoissa päästiin nestefaasin erinomaiseen 80–92 % fosforireduktioon. Koeajoissa P:N:Mg suhde pyrittiin saamaan tasolle 1:1:2,5. Suurimmassa osassa koeajoja typen lisäykselle ei ollut tarvetta. Struviittisaostuksen jälkeen neste palautetaan puhdistusprosessiin, sillä ravinteita ei saada struviittikiteytyksessä täysin talteen.

7.2. Struviittianalyysit

Hankkeessa pilot-laitteistolla saostetuista struviittinäytteistä osa analysoitiin tarkemmin, niiden alkuaine- ja struviittipitoisuuksien selvittämiseksi sekä haitta-aineiden analysoimiseksi. Näytteet analysoitiin Oulun yliopiston toimesta. Analyysien tulokset ovat ladattavissa [hankkeen nettisivuilta](#).

Sakkanäytteiden struviittipitoisuus on analysoitu XRD-analyysillä (röntgendiffraktio), joka mittaa kideaineiden todellisen koostumuksen eli muodostuneen kiteisen struviitin osuuden. Alkuaineanalyysi toteutettiin XRF-analyysillä (röntgenfluoresnsi), joka mittaa alkuaineiden ja oksidien pitoisuutta. Sen teoreettinen laskelma ”laskennallisesti struviitiksi määritelty” kuvaa teoreettista maksimimäärää, jonka sakka voisi sisältää struviittia havaitun kemiallisen koostumuksen (P, N, Mg) perusteella, jos kaikki alkuaineet olisivat sitoutuneet kiteiseksi struviitiksi. XRD antaessa suuremman luvun kuin laskennallinen XRF, voidaan päätellä, että näyte sisältää paljon vettä tai orgaanista ainetta, jota XRD ei tunnista struviitiksi, mutta XRF ottaa mukaan kokonaismassaan. Vaihtoehtoisesti sakka saattaa sisältää muita fosfaattiyhdisteitä, jolloin laskennallinen struviitin määrä jää pieneksi. Puolestaan jos laskennallinen XRF arvo on korkeampi kuin XRD, voidaan olettaa, että XRD ei joko tunnista kaikkea struviittia esimerkiksi pienen kidekoon vuoksi tai teoreettinen arvio on laskettu yläkanttiin, eli kaikki saatavilla oleva fosfori ja magnesium eivät todellisuudessa ole sitoutuneet struviitiksi. Keskeiset analyysitulokset analysoiduista eristä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Bio-P-lietteestä saostettujen struviittisakkojen sekä Berliinistä saadun vertailunäytteen yhdiste- ja alkuaineanalyysien yhteenvedo (muokattu Pesonen, 2025a,b.)

Erä	Struviitti (%) XRD	Struviitti (%) XRF	Hiili (%)	Huomioita XRD-tuloksista
Erä 15	90,77	95,23	1,60	9,23 % H4MgO2
Erä 16	100,0	92,53	0,58	
Erä 17	100,0	93,89	0,67	
Erä 18	100,0	89,47	4,50	
Berliinin näyte	100,0	64,133	0,21	

Analysoiduista erässä 15. havaittiin magnesiumia, joka ei ole reagoanut fosforin ja typen kanssa. Lisäksi erässä 18. havaittiin 4,5 % massasta olevan hiiltä, kun lannoitelainsäädännössä maksimipitoisuus on 3,0 %. Sakka oli myös väriltään tummempaa kuin edellisissä koeajoissa, joten sakkaan on luultavasti jäänyt lietteen sisältämää kiintoainetta. Vertailun vuoksi on analysoitu myös Berliinistä saatu struviittisakkanäyte, joka visuaalisen tarkastelun perusteella oli hyvin hiekkapitoista, joka selittää näytteen matalaa XRF tulosta.

Lannoitelainsäädännössä annetaan maksimipitoisuudet tietyille ympäristössä haitallisille aineille, kuten raskasmetalleille. Haitta-aineanalyysin tulokset sekä kotimaisen lannoitelainsäädännön mukaiset haitta-aineiden maksimipitoisuudet on esitetty taulukossa 3. EU:n lannoiteasetuksessa 2019/1009 annetut suurimmat sallitut pitoisuudet ovat korkeammat, kuin kotimaisessa lannoitelainsäädännössä.

Taulukko 3. Bio-P-lietteestä saostetuista sakkänäytteistä analysoitujen haitta-aineiden pitoisuudet ja haitta-aineiden sallitut enimmäispitoisuudet (muokattu Pesonen, 2025a,b.)

	Haitallisten aineiden enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta						
Haitalliset aineet	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta	40	1,5	300	600	100	70	1500
15	<0,9	<0,25	7,2	3,11	3,18	18,3	10,5
16	<0,9	<0,25	2,06	3,04	<2,3	7,4	5,79
17	<0,9	<0,25	3,77	1,93	<2,3	8,2	3,63
18	<0,9	<0,25	3,1	34,1	<2,3	18,4	45,5

Yllä olevan taulukon tuloksista nähdään, että haitta-aineanalyysien tulokset alittavat lainsäädännön määrittämät pitoisuudet. Saostetuissa sakoissa ei siis ilmennyt ympäristölle haitallisia pitoisuuksia haitta-aineita. Saostetuista sakoista ei ole toistaiseksi tutkittu hygieniää, eli taudinaiheuttajia tai kasvintuhoajia.

Toteutettujen analyysien perusteella Bio-P-lietteestä analysoidut sakat ovat olleet korkealaatuisia, eivätkä ne ole sisältäneet suuria pitoisuuksia haitallisia aineita. Tämä kertoo pilot-laitteiston toimivan hyvin ja saostusprosessin olevan tehokas.

8. Magnesiumhydroksidin vaikutus biokaasulaitosprosessiin

Magnesiumhydroksidia, kemialliselta kaavalta $Mg(OH)_2$, käytetään useissa kohteissa, kuten teollisuuslaitoksissa ja jätevedenpuhdistamoilla esimerkiksi rikin saostamiseen savukaasupesureissa, pH:n nostoon, metalliensäostukseen ja rikkivedyn muodostumisen estämiseen. Magnesiumhydroksidi on käyttöturvallisuudeltaan parempi kuin vastaavaan tarkoitukseen käytetyt lipeä tai kalkkituotteet. Esimerkiksi Yhdysvalloissa magnesiumhydroksidia käytetään biokaasulaitoksilla pH:n säätökemikaalina. (Berner Chemicals)

Biokaasulaitoksella magnesiumhydroksidista voi olla myös muita hyötyjä, sillä magnesiumhydroksidin valmistajien mukaan se lisää biokaasun tuottoa, vähentää muodostuvan hajua aiheuttavan rikkivedyn määrää, vähentää liukoisien fosforin määrää fosforin saostuessa, sekä alentaa TS- (Total Solids, kokonaiskuiva-aine), VS- (Volatile Solids, haihtuvat kiintoaineet), TCOD (Total Chemical Oxygen Demand, kokonaishapenkulutus) ja SCOD (Soluble Chemical Oxygen Demand, liukoisien aineiden hapenkulutus) määriä.

Rikkivety hyvin myrkyllinen ja happamoittava kaasu, joka voi biokaasulaitoksella muodostuessaan tuottaa ympäristöön häiritsevää hajua. Rikkivety myös kuluttaa laitteistoja, haittaa prosessia ja alentaa biokaasun laatua. Liukoinen fosfori puolestaan vesistöön joutuessaan aiheuttaa rehevöitymistä ja on pois fosforin tehokkaasta kierrosta. Esimerkiksi struviittiin yhdistyneenä fosfori on hitaammin liukeneva ja kasveille helpommin hyödynnettävä lannoite, toisin kuin suoraan biokaasulaitoksen mädäte. Yhdessä rikin kanssa fosfori voi aiheuttaa erityisen hankalia saostumia. Jos laitoksella käytetään rautaa rikkivedyn sitomiseen, siihen sitoutuu samalla liukoista fosforia, joka voi muuttaa lietteen ja mädätteen koostumusta ja lietteen lannoitekäyttö voi vaikeutua entisestään. Kokonaiskuiva-aineen (TS) ja haihtuvien kiintoaineiden (VS) väheneminen merkitsee suoraan, että orgaanisesta massasta on muodostunut enemmän biokaasua. Kemiallisen hapenkulutuksen (COD) väheneminen biokaasulaitoksella kertoo, että orgaaninen aines on hajonnut ja muuttunut biokaasuksi, eli mädätysprosessi on tehokas. Samalla jäännöslietteen hajuhaitat ja jälkikäyminen vähenevät, mädätteestä tulee stabiilimpaa ja turvallisempaa

käyttää lannoitteena ilman rautaa, ja mahdollisten päästöjen ympäristökuormitus pienenee alhaisemman hapenkulutuksen ansiosta.

Aiemmassa BioP-Rec-hankkeessa teetettiin alustavia pullokoikeita, joissa tarkasteltiin magnesiumhydroksidin lisäyksen vaikutuksia biokaasuprosessiin. Tulosten varmentamiseksi tässä hankkeessa toteutettiin laboratoriomitakaavaisia puolijatkuvatoimisia biokaasureaktorikoikeita. Kokeiden tavoitteena oli selvittää magnesiumhydroksidilisäyksen vaikutusta biokaasuntuotantoon sekä mädätteen liukoisen fosforin määrään. Magnesiumhydroksidin lisäämistä biokaasulaitosprosessiin testattiin Hämeen ammattikorkeakoululla ja koko tutkimukseen voi tutustua [tulosraportista](#).

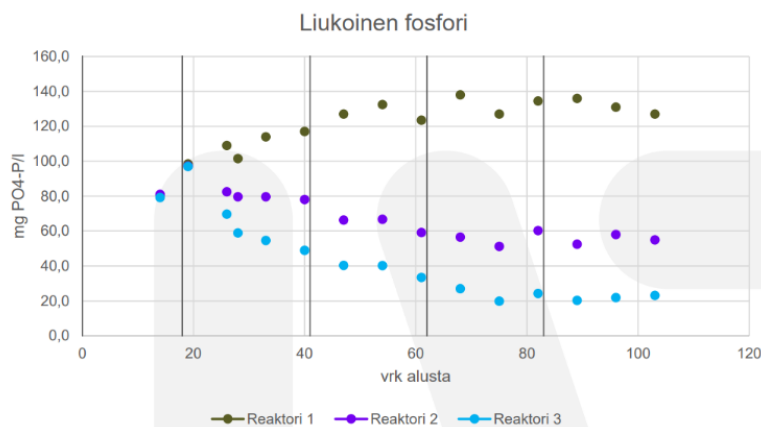
Magnesiumhydroksidin vaikutusta biokaasulaitosprosessiin tutkittiin kolmella reaktorilla rinnakkain jatkuvatoimisesti 102 vuorokauden ajan. Syötteenä käytettiin Uudenkaupungin Biolinjan biokaasulaitoksen syöttömassaa. Biolinjan laitoksen syöte koostuu kauppojen, ravintoloiden ja kotitalouksien pakatusta ja pakkaamattomasta biojätteestä, rasvoista ja proteiinipitoisista jätteistä, vihannes- ja puutarhajätteistä, eläinlannasta, meijeri- ja panimoteollisuuden jätteistä sekä elintarviketeollisuuden 3. luokan sivutuotteista.

Reaktoreita ajettiin biokaasulaitoksille tyypillisillä kuormilla, 3 ja 4 kgVS/m³d eli 3 ja 4 kiloa haihtuvia kiintoaineita sisältävää syötettä per kuutio päivässä, magnesiumhydroksidi lisäyksen kasvaessa 0–750 mg/l välillä. Syötetaulukko on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Reaktoreiden syötöt ja magnesiumhydroksidin lisäysmäärät bioreaktorikoikeissa (Laine & Kannisto, 2025.)

Aika	vrk	R1	R2	R3
1.4-28.4.	0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
29.4-21.5.	18-40	-"-	3 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH)2	3 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH)2
22.5.-11.6.	41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH)2	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH)2
12.6.-2-7.	62-82	-"-	-"-	4 kgVS/m3d 500 mg/l Mg(OH)2
3.7.-22.7.	83-102	-"-	-"-	4 kgVS/m3d 750 mg/l Mg(OH)2

Tutkimuksen mukaan muodostuneen biokaasun määrissä ja kaasun koostumuksessa ei havaittu oleellisia eroja. Ainoastaan rikkivedyn määrä magnesiumhydroksidilisäyksellisissä reaktoreissa oli alhaisempi kuin nollareaktoreissa (R1), mutta kokonaisuudessaan rikkivedyn osuus kaasusta oli biokaasuprosessille vähäinen. Merkittävin ero magnesiumlisäyksellä saavutettiin liukoisen fosforin osalta. Liukoinen fosfori väheni magnesiumhydroksidilisäyksellisissä mädätteestä parhaimmillaan 83 % nollareaktoriin verrattuna. Tarkempia tuloksia liukoisen fosforin määrän muutoksista on esitetty kuvaajassa 4.



Kuvaaja 4. Liukoisen fosforin pitoisuudessa havaittu muutos kontrollireaktorin (reaktori 1) ja magnesiumhydroksidilisiä saaneiden reaktoreiden välillä (Laine & Kannisto, 2025.)

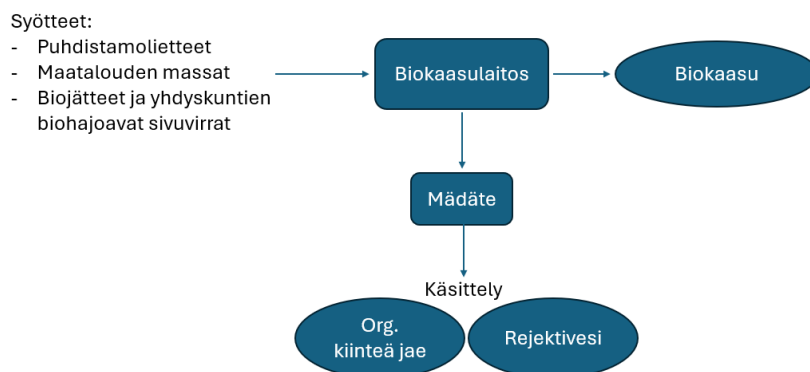
Suuremmalla orgaanisella kuormituksella (4 kgVS/m³d) ja erityisesti korkeammilla magnesiumhydroksidin annostuksilla mädätysprosessin tasapainoa kuvaava VFA/alkaliteetti-suhdeluku alkoi kasvaa. Tämä johtui haihtuvien rasvahappojen kertymisestä prosessiin, mikä viittaa siihen, että metaania tuottavat mikrobit eivät ehtineet kuluttaa syntyviä väli tuotteita samaa tahtia kuin niitä muodostui. Suureneva VFA/alkaliteetti-suhdeluku on tyyppillinen merkki mädätysprosessin kuormittumisesta ja lisää riskiä prosessin häiriintymiselle. Pienemmällä orgaanisella kuormituksella ja maltillisemmilla magnesiumhydroksidin syötyillä VFA/alkaliteetti-suhdeluku pysyi vakana, eikä merkkejä prosessin epätasapainosta havaittu. Bioreaktorin syöttö tulee siis mitoittaa mädätysprosessin kapasiteetin mukaan eikä tasapainossa olevassa reaktorissa havaittu magnesiumhydroksidin lisäyksellä olevan vaikutusta prosessiin.

Reaktoreiden syötön yhteydessä reaktoreista poistettiin mädätettä, johon fosforin odotettiin saostuvan. Seuraavaksi kerättyä mädätettä on tarkoitus tutkia tarkemmin ja arvioida mahdollista syntyneen struviitin määrää.

9. Struviitin kiteytys biokaasulaitoksen rejekteistä

Biokaasulaitokset ovat monipuolisia resurssitehtaita. Alkuinvestointien jälkeen laitoksen ylläpito on yleensä edullista, ja se tuottaa kahta arvokasta tuotetta: biokaasua eli uusiutuvaa polttoainetta sekä mädätejäännöstä, jota voidaan hyödyntää lannoitteena tai maanparannusaineena. Biokaasulaitoksen syötteenä voidaan käyttää lähes mitä tahansa hajoavaa orgaanista materiaalia, kuten puhdistamolietettä, biojätettä, elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, lantaa tai peltomassoja. Puhdistettu ja jalostettu biokaasu eli biometaani soveltuu polttoaineeksi niin maantie- ja vesiliikenteeseen kuin teollisuuden tarpeisiin.

Mädätettä voidaan käyttää lannoitteena sellaisenaan tai käsiteltynä. Esimerkiksi linkouksen avulla siitä voidaan erottaa kuiva- ja nestejäte: kiinteä orgaaninen jae on usein tehokkaampi hyödyntää lannoitteena sellaisenaan laitoksen läheisyydessä. Nykyisin myös rejektivettä käytetään peltoravinteena, mutta sen kuljetus on kallista ja varastointi hankalaa. Rejektivesi sisältää kuitenkin runsaasti ravinteita, joiden talteenotto valmiina lannoitetuotteina — esimerkiksi struviittina — mahdollistaisi niiden hyödyntämisen huomattavasti laajemmalla maantieteellisellä alueella. Yksinkertaistettu kuva biokaasulaitoksen keskeisistä jakeista on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Biokaasulaitoksen yksinkertainen prosessikuvaus.

Biokaasulaitosten rejktivesi sisältää runsaasti typpeä ja fosforia, minkä vuoksi se soveltuu hyvin ravinteiden talteenottoon. Struviittikiteytys vaatii biokaasulaitoksen syötteen olevan sellaista, että fosfori on liukoissa muodossa ja erottuu mädäjäjäännöksen rejktiveeseen. Esimerkiksi rauta- ja alumiinikemikaaleja käyttävien jätevedenpuhdistamoiden lietteessä fosfori sitoutuu tiukasti lietteeseen, eikä biokaasulaitoksen rejktivedessä tällöin ei ole riittävästi liukoista fosforia struviittisaostukseen.

Kirjallisuuden mukaan struviitin muodostuminen edellyttää sopivaa pH:ta, riittävää magnesiumin, ammoniumtyypen ja fosfaatin saatavuutta sekä hallittuja virtaus- ja sekoitusolosuhteita. Biokaasulaitosten mädäjäjäännöksessä ja rejktivedessä struviitin muodostumista rajoittaa kuitenkin usein fosforin saatavuus, sillä ne sisältävät yleensä runsaasti ammoniumtyypeä. Tämän vuoksi liukoisen fosforin hallittu lisääminen prosessiin mahdollistaisi vielä huomattavasti suuremman struviittisaannon.

9.1. Määdetekokeet BioStuvi-hankkeessa

Hankkeen yhdeksi tavoitteeksi oli asetettu testata biokaasulaitoksen rejktivettä struviitin kiteytykseen pilotlaitteistolla. Suurin osa biokaasulaitoksista kuitenkin käsittelee kemiallis-biologisesti puhdistettuja jätevesilietettä, jolloin fosfori sitoutuu kiinteään mädätteeseen eikä rejktivedessä ei ole liukoista fosforia tarpeeksi struviitin saostukseen.

Hankkeessa laboratoriossa testatuista jakeista Emomylyn sikalan lantaa käsittelevän biokaasulaitoksen rejktissä oli myös vähäiset pitoisuudet liukoista fosforia. Ilmeisesti rehuna käytetyn heran sisältämä kalkki sitoo muodostuvan liukoisen fosforin kiintoaineeksi. Emomylyn rejktin havaittiin myös sisältävän melko paljon kiintoainetta. Testatuilla polymeereillä ei saatu laskeutettua kiintoainetta eikä täten erotettua pilotlaitteistolle sopivaa puhdasta nestejakea.

Toisena jakeena testattiin Uudenkaupungin Biolinjan biokaasulaitoksen rejktiä. Laitoksen syötteenä käytetään mm. erilliskerättyä biojätettä. Struviittisaostuksen näkökulmasta rejkti sisälsi riittävästi ortofosfaattia ja ammoniumtyypeä. Rejktin huono laskeutuvuus eli kiintoaineen erottelu havaittiin haasteelliseksi myös Biolinjan rejktin osalta, sillä puhtaan struviitin saamiseksi syötteen halutaan sisältävän mahdollisimman vähän orgaanista kiintoainetta.

Kiintoaineen erottelun haasteista johtuen biokaasulaitoksen rejektejä ei kokeiltu pilot-laitteistolla. Struviitin kiteyttämistä biokaasulaitoksen rejektistä on kuitenkin selvitetty Suomessa muissa hankkeissa, kuten [Centria-am-mattikorkeakoulun KIP-kierto -hankkeessa](#), jossa talteen otetulla struviitilla on toteutettu myös kasvatuskokeita.

9.2. Pieni biokaasulaitos jätevedenpuhdistamolla

EU säätelee yhdyskuntajätevesien käsittelyä yhdyskuntajätevesidirektiivillä, jonka päivitettyssä versiossa (2024/3019) on mukana vaatimus jätevedenpuhdistamoiden kansallisesta energiaomavaraisuudesta vuoteen 2045 mennessä. Suurten ja keskisuurten puhdistamoiden yhteenlasketun energiantuotannon ja -kulutuksen tulisi siis tällöin olla kansallisesti tasapainossa. Euroopan Unionin mukaan selkeä oikeudellinen velvoite on edellytys todellisen edistyksen saavuttamiseksi. Energianeutraaliustavoite sekä mahdollinen kiristytävä yhdyskuntalietedirektiivi huomioiden, hankkeessa haluttiin selvittää pienen biokaasulaitoksen investointikustannuksia puhdistamon yhteyteen. Toistaiseksi ei ole tiedossa miten ulkopuolisen tahon biokaasuntuotanto puhdistamolietteestä liitetään energiaomavaraisuustavoitteisiin.

Tarkastelussa keskityttiin tyypillisen biokaasulaitoksen tuottamiin ravinnemääriin sekä tuotetun kaasun käyttämisestä investoivan yrityksen omaan sähkön ja lämmön tuotantoon CHP-tekniikalla. CHP-lämmön hyödyntämistä ei tarkasteltu, mutta sitä voisi käyttää esimerkiksi ilmastusvaiheessa lämmitykseen Bio-P-prosessin tukemiseksi vuoden ympäri. Lisäksi arvioitiin teoreettisesti mädätteestä separoidun nestejakeen sisältämän fosforin hyödyntämistä struviittina. Struviitin saantoa arvioitiin, kun kokonaisfosforimäärästä ajateltiin saatavan talteen melko optimistinen 68 %. Laskennassa ei kuitenkaan huomioitu Bio-P-prosessin osavuotisuutta. Magnesiumin lisäksi fosforia lisäämällä struviittia olisi mahdollista kiteyttää huomattavasti enemmän, sillä rejektivesi sisältää runsaasti ammoniumtyyppeä.

Skenaariot toteutettiin Luken toteuttamalla [Biokaasulaskurilla](#), erilaisina skenaarioina eli erilaisina syötevirtoina. Syötteet ja skenaarioiden lähtötiedot on esitetty taulukossa 5. Skenaario 1 on toteutettu laskurin tarjoamilla perusarvoilla. Skenaario 2 on päivitetty Huittisten Puhdistamolta poistettavan ylijäämälietteen ravinnemäärillä, johon on lisätty skenaarioissa 3 ja 4 Huittisissa paljon saatavilla olevaa sian liettelantaa sekä peltobiomassoja (Envitecpolis, 2023).

Taulukko 5. Tarkastellut biokaasulaitosskenaariot ja niiden keskeiset tiedot.

	Syötteet ja määrät	Investointi-kustannus	Tuotetun bio-kaasun energiasisältö	Nestejae	Kokonaisfosfori	Struviittipotentiaali
Skenaario 1	Yhdyskuntien jätevesiliete 5 000 t/a	1 001 800 €	1 262 MWh	4 303 t	4,62 kg/t	
Skenaario 2	Yhdyskuntien jätevesiliete 5 000 t/a	1 001 800 €	1 262 MWh	4 303 t	14,02 kg/t	325 t
Skenaario 3	Sian liettelanta 10 000 t/a Yhdyskuntien jätevesiliete 5 000 t/a	1 209 900 €	3 000 MWh	13 021 t	5,18 kg/t	363 t
Skenaario 4	Sian liettelanta 10 000 t/a Yhdyskuntien jätevesiliete 5 000 t/a Suojavyöhyke- ja LHP-nurmi 35 t/a Olki 74 t/a	1 299 500 €	3 153 MWh	13 086 t	5,16 kg/t	

Biokaasulaskurin antamien tulosten pohjalta arvioitiin, että pienen biokaasulaitoksen investointikustannukset ovat noin 1–1,3 miljoonaa euroa. Syötteiden määrän kasvattamisella oli vähäisiä vaikutuksia laitoksen kokonaishintaan, mutta pelkästä lietepohjaisesta syöttestä siirtyessä myös kiinteän syötteen hyödyntämiseen, tulee investoida esimerkiksi erilliseen kiinteän aineen varastoon ja murskaukseen.

Merkittävä ero kannattavuuden näkökulmasta on, saako yritys itse hyödynnettyä tuotetun biokaasun, eli tässä tapauksessa CHP-sähkön sekä -lämmön. Esimerkiksi jätevedenpuhdistamolla energiankulutus on suurta, joten ulkopuolisen syötteen hankinta ja biokaasun hyödyntäminen omaan käyttöön vaikuttaa merkittävästi biokaasuinvestoinnin kannattavuuteen. Skenaariossa 2. CHP:llä biokaasusta tuotettu sähkö voisi korvata noin 9 % ja skenaariossa 3. noin 25 % puhdistamon ostosähkön kulutuksesta.

Skenaariot eivät sisältäneet arviota struviittikiteytyslaitteiston investoinnista tai muista sen valmistukseen liittyvistä kustannuksista. Struviitin markkinahinta vaihtelee ravinnepitoisuudesta riippuen tyypillisesti 300–500 € per tonni, mutta joissain jätevedenpuhdistamon yhteydessä olevissa laitoksissa struviitin myyntihinnaksi on ilmoitettu 50–90 euroa per tonni ja toisissa jopa 1000 € per tonni (Lim, 2024). Koska struviitti ei toistaiseksi ole Suomessa käytetty lannoite, sen hintaa kotimaisilla markkinoilla on hankala arvioida. Tällöin myös sen kiteytyksen kannattavuutta on hankala arvioida.

10. Struviitin kiteytys elintarviketeollisuuden sivuvirroista

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat, kuten hera, kasvisnesteet ja salaattipuristuksen sivujakeet, sisältävät runsaasti liukoisia ravinteita, mikä tekee niistä potentiaalisia raaka-aineita struviitin kiteytykseen. Erityisesti salaattipuristeenesteessä on todettu olevan korkeat liukoisien fosforin ja typen pitoisuudet, ja sen matala kuiva-ainepitoisuus helpottaa käsittelyä.

10.1. Hera

Heralajeja syntyy juuston ja rahkatuotteiden käsittelyssä pääasiassa kahta eri tyyppiä: makeaa heraa, jota muodostuu, kun maito juoksetetaan entsyymaattisesti, jolloin sen pH noin 6,0, ja hapanta heraa, jota muodostuu, kun maito hapetetaan maitohappobakteerien avulla, jolloin pH on alle 5,0.

Sastamalan Herkkujuustolassa syntyy sivutuotteena hapanta heraa, joka hyödynnetään tällä hetkellä sikalan rehuna. Hankkeessa toteutettujen mittauksien mukaan sen ortofosfaattipitoisuus oli 745 mg/l, typpipitoisuus 1004,4 mg/l ja pH 4,4. Hera oli laimennettu vedellä noin 20 % herapitoisuuteen. Struviittisakkojen yhdiste- ja alkuaineanalyysien tulokset on esitetty taulukossa 6 ja haitta-aineanalyysien tulokset taulukossa 7.

Taulukko 6. Herasta saostettujen struviittisakkojen yhdiste- ja alkuaineanalyysien yhteenveto (muokattu Pesonen, 2025a,b.)

Erä	Struviitti (%) XRD	Struviitti (%) XRF	Hiili (%)	Huomioita XRD-tuloksista
Erä 12.	15,0	84,22	9,32	72,2 % Mg(OH) ₂
Erä 13.	95,5	57,366	12,15	
Erä 14.	6,7	-	7,01	75 % Mg(OH) ₂ 18 % CaHPO ₄

Taulukko 7. Herasta saostettujen sakkanäytteistä analysoidut haitta-aineiden pitoisuudet ja haitta-aineiden sallitut enimmäispitoisuudet (muokattu Pesonen, 2025a,b.)

	Haitallisten aineiden enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta						
Haitalliset aineet	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Enimmäispitoisuus mg/kg kuiva-ainetta	40	1,5	300	600	100	70	1500
Erä 12.	0,83	<0,08	6,87	6,45	1,78	6,99	45,25
Erä 13.	18,6	<0,08	7,11	4,07	8	8,03	74,8
Erä 14.	5,52	<0,25	6,01	4,67	10,03	38,7	26,7

Koeajoissa havaittiin happaman heran olevan haastava raaka-aine struviitin saostukseen. Hera sisältää runsaasti bakteereja, joilla on erinomainen vastustuskyky pH säädölle, eikä pH koeajoissa pysynyt struviittisaostukselle suotuisassa 8–8.5 tuntumassa. Lisäksi hera sisältää runsaasti kalsiumia, jota havaittiin analyysissä runsaasti. Haitta-aineiden pitoisuudet eivät ylittäneet lannoitelainsäädännön raja-arvoja yhdessäkään erässä.

Hera sisältää maitohappobakteereja, jotka eivät elä neutraaleissa tai emäksisissä olosuhteissa. Maitohappobakteerit tuottavat orgaanisia happoja, kuten maitohappoa, etikkahappoa ja propionihappoa aineenvaihduntansa tuloksena, mikä antaa niille puskurikykyä pH nousua vastaan. Heran pH:n saattaminen struviitin kiteytyksen kannalta oikealle tasolle osoittautuikin haastavaksi.

Struviitin raaka-aineena hera havaittiin ongelmalliseksi myös sen sisältämän kalsiumin vuoksi. Kalsium saostuu helposti pH:ta nostettaessa liukoisen fosforin kanssa erilaisiksi kalsiumfosfaateiksi, jolloin jäljelle ei jää liukoista fosforia, joka reagoisi magnesiumin ja typen kanssa muodostaen struviittia. Kalsiumia yritettiin poistaa laboratoriomittakaavassa happamasta herasta saostamalla kolmella eri tekniikalla: ruokasoodalla, ammoniumsulfaattilla ja rikkihapolla, mutta mikään tekniikoista ei toiminut toivotulla tavalla.

Heran sisältämä kalsium on kriittinen mineraali pelloilla, sillä se on kasvien soluseinien keskeinen rakennusaine. Kalsium liikkuu maaperässä heikosti ja sen puutos vaikuttaa negatiivisesti kasveihin. Säännöllisesti kalkituilla pelloilla kalsiumpuutosta ei yleensä tapahdu, mutta esimerkiksi maaperän matala pH, orgaaninen hapan maa tai natriumrikas maa lisäävät kalsiumpuutoksen riskiä. Kalsiumlannoitteen lisääminen voi tulla kyseeseen esimerkiksi Suomessa yleisillä happamilla sulfaattimailla sekä karkeilla kivennäismailla sellaisten kasvien kanssa, jotka erityisen herkkiä kalsiumin puutokselle, kuten perunoille, juureksille ja vihanneksille. (Yara.) Heran sisältämä kalsium kannattaisikin pyrkiä hyödyntämään peltoravinteena, joten struviitin saostus ei vaikuttanut kannattavimmalta tavalta hyödyntää heran sisältämiä ravinteita.

10.2. Kasvihuoneen sivuvirta

Tomaatin ja kurkun viljelyssä poistetaan tiloilla joka viikko lehtiä, jotka sisältävät runsaasti ortofosfaattia ja ammoniumtyyppiä. Myös muista puutarhatuotannon sivujakeissa, kuten salaatinpakkaamisen yhteydessä poistetuissa lehdistä ja kasvualustoissa, on runsaasti ravinteita. Huittisissa, Tuiskulan kylässä sijaitsevassa Härkälän puutarhassa näistä jakeista muodostuu yhteensä noin 25 tonnia sivuvirtaa vuodessa. Eniten vihermassaa poistuu tomaatin ja kurkun kasvustojen vaihdon yhteydessä kesällä ja muuten melko tasaisesti ympäri vuoden. Härkälän puutarhalta saatiin sivuvirtanäyte ravinteiden analysoimista varten. Tarkoituksena oli arvioida, voisiko toistaiseksi hyödyntämättömästä sivuvirrasta jalostaa esimerkiksi stuviittia.

Laboratoriossa sivuvirtaa tutkittiin kolmessa osassa: eroteltuina kurkunlehtinä, salaattina sekä salaatin ja kasvuturpeen sekoituksena. Todellisuudessa kaikki vihermassat ovat kuitenkin sekaisin keskenään. Näytteet soseutettiin, puristettiin ja erotetusta nesteestä tutkittiin ortofosfaatin ja kokonaistypen pitoisuudet. Laboratoriokokeissa havaittiin, että sivuvirta on nestepitoista, mutta salaatin kasvualustana käytetty turve imee itseensä kosteutta ja puristaessa siitä irtoa kiintoainetta. Jakeissa oli riittävästi ortofosfaattia ja tyypeä struviitin kiteytykseen, mutta ongelmaksi pilot-laitteistolla käsittelyyn olisi muodostunut jakeen vaatima esikäsittely, eli murskaus ja nesteen erotus. Vihermassa kuitenkin on hyvin ravinnerikasta, joten sen hyötykäyttömahdollisuuksia nykyisen aumakompostoinnin sijaan kannattaa etsiä.

Kasvihuonesivuvirran käsittelystä kirjoitettiin myös [Prizztechin Oivalluksia arjesta -blogiin](#). Satakuntalaisista kasvihuoneyrityksistä Sivivirtapörssissä kasvihuonesivuvirroista ilmoittavat Härkälän puutarha, jolla tomaatin ja kurkun osia sekä jätesalaattia muodostuu noin 25 tonnia vuodessa, sekä Agrifutura Tomaatit, joilta muodostuu tomaatin osia noin 1300 tonnia vuodessa. Useamman toimijan sivuvirtojen ympärille voisi hyvinkin muodostua kannattavaa ravinteiden talteenottotoimintaa.

11. Struviitin käyttö lannoitteena ja sen vaikutukset vesistöihin

Vaativuuden mukaisesti valmistettu struviitti on tehokas ja turvallinen fosforilannoite, joka soveltuu hidasliukoiseksi ravinteeksi maataloudessa. Struviitti soveltuu erityisesti viljelyyn, jossa tarvitaan pitkävaikutteista ravinteiden vapautumista, ja on vaihtoehto nopeasti liukeneville mineraalilannoitteille.

Useat kansainväliset ja suomalaiset tutkimukset osoittavat, että struviitti pystyy tuottamaan yhtä hyviä tai jopa parempia satotuloksia kuin perinteiset superfosfaatit, etenkin happamassa maaperässä ja säädellysti käytettynä. Tutkimuksissa on myös havaittu, että struviittilannoitus voi vähentää typpilannoituksesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Esimerkiksi maissilla tehdyissä kokeissa struviitin fosforin saatavuus oli yhtä hyvä kuin superfosfaatilla ja selvästi parempi kuin luonnonfosfaatilla. (Muys et al. 2021.)

Struviitti on tehokkaaksi todettu lannoite myös muun muassa [soijan viljelyssä Itävallassa](#), [salaatilla Turkissa](#) sekä erilaisilla [ruohoilla Espanjassa](#). Kuten aiemmin mainittiin, Suomessa esimerkiksi Centria-ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen yhteisessä [KIP-kierto -hankkeessa](#) on testattu struviittia sekä ruukku- että peltokokeissa hyvin tuloksin.

Ympäristövaikutusten kannalta struviitti on erityisen kiinnostava siksi, että se voi vähentää lannoituksesta aiheutuvaa vesistökuormitusta. Sen hidas liukeneminen minimoi ravinteiden huuhtoutumisriskin sateisten kausien aikana. Lisäksi se tarjoaa keinon kierrättää fosforia sekä tyypeä ja voi paikallisesti korvata ulkomailta tuotavaa fosforia. Suomessa struviitin käyttöä tutkitaan aktiivisesti ja sillä arvioidaan olevan merkittävää potentiaalia kotimaisen fosforilannoitustarpeen kattamisessa. Vaikka struviitin tuotantomäärät Euroopassa ovat toistaiseksi melko pienet, arviolta noin 10 000 tonnia vuodessa, sen kiertotalouspotentiaali on merkittävä (Muys et al. 2021.)

12. Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

BioStruvi-hanke jatkoi Prizztechin ravinteiden kierrätyksen parissa tekemää työtä. Kokonaisuudessaan hanke eteni suunnitelman mukaisesti, ja biologisen fosforinsaostuksen palautuslئےteestä todettiin saatavan lannoitekäyttöön kelpaavaa kotimaista, kierrätettyä lannoitetuotetta. Toteutetut koeajot, struviittisakka-analyysit sekä

ravinteiden vapauttamiseen ja magnesiumhydroksidin lisäämisen vaikutusta biokaasulaitoksella tarkastelleet selvitykset tuottivat paljon lisätietoa kirjallisuudesta saadun tiedon tueksi.

Työ ravinteiden talteenoton ja kierrättämisen parissa toiminta jatkuu STRUVIKS-hankkeessa. Seuraavaksi tavoitteena löytää teknistaloudellisesti kannattavia vaihtoehtoja struviittisaostukseen Bio-P-jätevedenpuhdistamolta. Hankkeessa on tarkoitus tarkastella muun muassa End-of-waste (EOW) -statuksen vaatimuksia. Hankkeessa jatketaan struviitin kiteytystä erilaisilla sivuvirroilla sekä arvioidaan struviittiprosessin potentiaalisia markkinoita.

Lähteet

Ahlgren J. 2025. Kemira. Sähköpostikeskustelu 15.8.2025

Berner Chemicals. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa: <https://bernerchemicals.fi/magnesiumhydroksidi/>

Envitecpolis. 2023. Lisäsyötekartoitus Huittisten alueelta sekä Huittisten ja Sastamalan data-aineistojen yhdistäminen. Satafood Kehittämisyhdistys ry:n Biokaasutuotannon selvitys Huittisten BioParkin alueelle-hanke. Saatavilla: https://www.satafood.net/site/assets/files/2591/lisasyotekartoitus_envitecpolis.pdf

Eriksson, A. 2018. Optimering av bio-P-processen vid Västra strandens avloppsreningsverk i Halmstad. Pro Gradu-tutkielma. Lundin Yliopisto. <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/8944539>

Hao K-Y., Zhang N., Li Y-W. ja Zong Y-C. 2021. Effect of ultraviolet radiation on nitrogen and phosphorus removal from sewage in plateau environment. Desalination and Water Treatment 216, s. 232–238.

Henze et al. 2008. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design.

Huoltovarmuusorganisaatio. 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. ISBN 978-952-5608-72-4. Saatavilla: https://www.vesilaitosyhdistys.fi/site/assets/files/5105/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf

Kokko, M., Zheu, Z., Pay, O. 2025. Ravinteiden vapauttaminen lietteistä loppuraportti. Tampereen Yliopisto. Osana BioStruvi-hanketta. Saatavilla: <https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/ravinteiden-vapauttaminen-lietteesta-loppuraportti.pdf>

Laine, M. & Kannisto, L. 2025. Mg(OH)₂ -lisäyksen vaikutus biojätettä syötteenä käyttävän biokaasureaktorin toimintaan. Hämeen ammattikorkeakoulu. Osana BioStruvi-hanketta. Saatavilla: https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/biostruvi-loppuraporttimateriaalit/hamkbio032025_koe-reaktorit_tulospalaveri_010925.pdf

Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen R., ja Toivikko S. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Suomen Ympäristö 3/2014. ISBN 978-952-11-4286-4 (PDF)

Lehtola M. J., Miettinen I. T., Vartiainen T., Rantakokko P., Hirvonen A. ja Martikainen P. J. 2003. Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in drinking water. Water Research 37, s. 1064–1070.

Levomäki, M. 2019. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon energiatehokkuuden parantaminen typenpoiston optimoinnin avulla. Suomen Vesiyhdistys ry. Saatavilla: https://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Levomaki_Mirva_%20Kakolanmaen_energiatehokkuus.pdf

Lim, J. 2024. Comparative study of struvite quality produced in European Wastewater treatment plants. Master's thesis. University of Lund. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9177923>

Luonnonvarakeskus. 2023. Lähes kaikki mineraalifosforilannoitus korvattavissa kierrätetyllä fosforilla - kierrätys takkuaa edelleen. Uutinen 30.1.2023. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/lahes-kaikki-mineraalifosforilannoitus-korvattavissa-kierratetylla-fosforilla-kierratys-takkuaa-edelleen>

Maaseudun Tulevaisuus. (2023a). Ruuantuotannon kasvu ja riippuvuus kemiallisista lannoitteista. Saatavilla: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/e11159a2-8456-4b4f-90a4-a059217d0544>

Maaseudun Tulevaisuus. (2023b). Fosforin kierrätys ja vihreän ammoniakin tuotanto. Saatavilla: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/e11159a2-8456-4b4f-90a4-a059217d0544>

Mikola, A. 2025. Ravinteiden kierrätyspotentialiaali. Webinaariesitys 22.1.2025, Ravinteet talteen! – Innovaatioita ja yhteistyötä jätevesien puhdistuksessa. Saatavilla: https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kier-totalous-tapahtumat/bioprec-loppuwebinaari-ravinteet-talteen/prizz-webinaari_ravinteiden-kierratyspotentiaali_220125.pdf

Muys, M., Marien, H., Clauwaert, P., Rabaey, K., & Vlaeminck, S. E. (2021). A systematic comparison of commercially produced struvite: Quantities, qualities and soil-maize phosphorus availability. Science of the Total Environment, 752, 141837. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141837>

Niiranen, I. 2025. Process design and techno-economic analysis of tannin extraction from spruce bark for leather industry applications. Master's thesis. Aalto University. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202508286944>

Pesonen, J. 2025a. Analyysitulokset, Prizztech. Oulun Yliopisto. Osana BioStruvi-hanketta. Saatavilla: https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/biostruvi-loppuraporttimateriaalit/prizztech_tulokset_2025-erat-5-12-13-13x-ja-berliini-osaii.pdf

Pesonen, J. 2025b. Analyysitulokset, Prizztech. Oulun Yliopisto. Osana BioStruvi-hanketta. Saatavilla: https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/biostruvi-loppuraporttimateriaalit/prizz_syyskuu_2025-erat-14-18.pdf

Pitkäjärvi, S. 2020. Rinnakkaissaostuksesta biologiseen fosforinpoistoon. Master's Thesis. Tampereen Yliopisto. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202001091142>

Resource check for selected treatment plants - Water sector resource utilisation partnership. 2021. The Danish Environmental Protection Agency. Environmental review no. 49. ISBN: 978-87-7038-282-3. Saatavilla: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2021/03/978-87-7038-282-3.pdf>

Ruokavirasto. 2025. Jätevesilietteiden käyttö lannoitevalmisteenä. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/lannoitevalmistet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/jatevesilietteet/>

Vilpanen, M. & Seppälä, P. 2025. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2021–2023. Julkaisija: Vesilaitosyhdistys ry. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 98. Helsinki 2025. ISBN 978-952-7545-21-8. Saatavilla: https://www.vesilaitosyhdistys.fi/site/assets/files/10041/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2025.pdf

Yara. Viitattu 10.4.2025. Saatavissa: <https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/kalsium/>

Ympäristöministeriö. 2023. Yhdyskuntien jätevesien ravinteiden talteenoton menetelmäselvitys.

Yuan C., Wang B., Peng Y., Li X. ja Zhang Q. 2021. Simultaneous enhanced biological phosphorus removal and semi-nitrification (EBPR-SN) followed by anammox process treating municipal wastewater at seasonal temperatures: From summer to winter. The Science of The Total Environment 757 (9): 144048

Zhao Z. 2025. Nutrient Release from Biosludge. Esitys Prizztechin BioStruvi-hankkeen loppuwebinaarissa 18.11.2025. Saatavilla: <https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-tapahtumat/biostruvi-webinaari-18112025/tuni-nutrient-release-from-biosludge-18.11.2025.pdf>

Zhou H., Smith D.W. ja El-Din M.G. 2013. Enhancing disinfection by advanced oxidation under UV irradiation in polyphosphate-containing wastewater flocs. Journal of Environmental Engineering 139(1), s. 118–125.

Östlund, A. 2018. Optimering av bio-P-processen vid Västra strandens avloppsreningsverk i Halmstad. Examen-sarbete, Lunds Universitet. Saatavilla: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8944539>