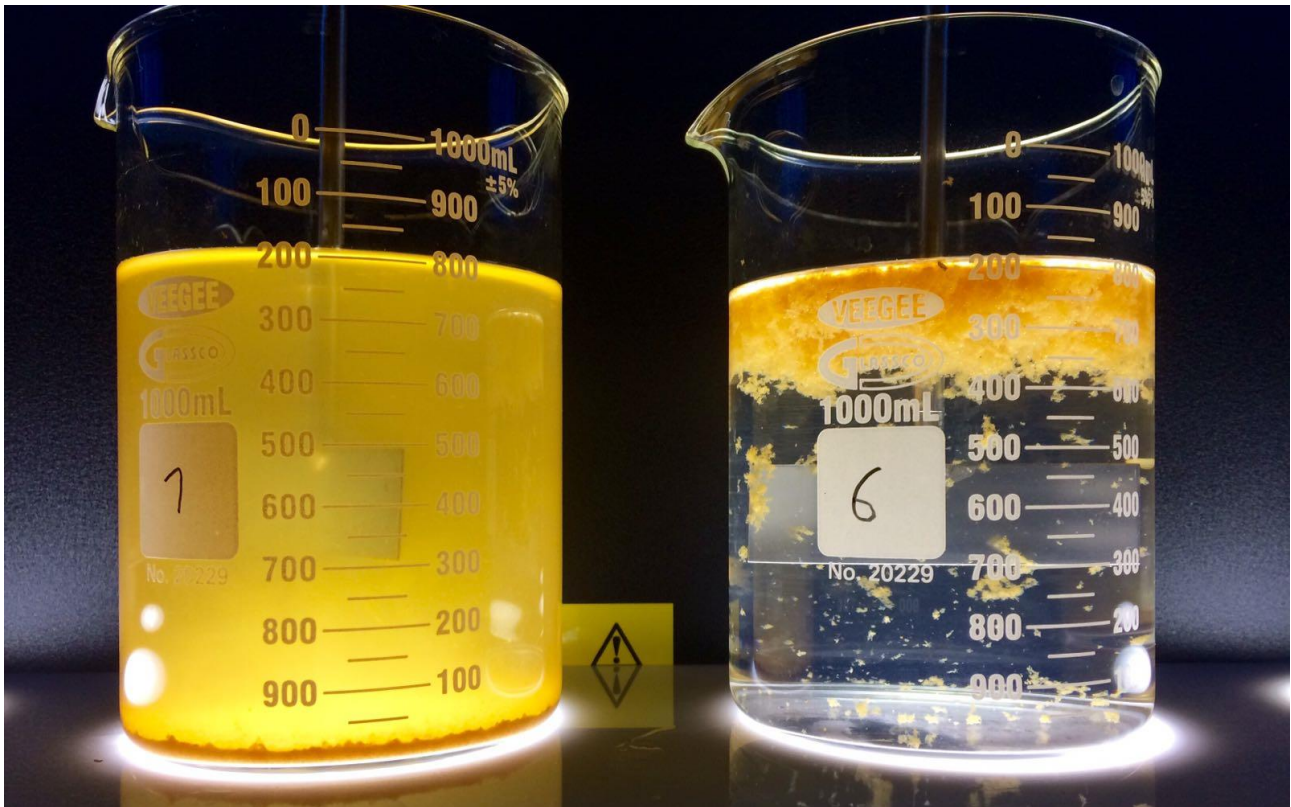


Biopolymeerien hyödyntäminen vesienkäsittelyssä ja ravinteiden kierrättämisessä (BioP) Loppuraportti



Jarno Turunen, Ritva Nilivaara-Koskela,

Tarja Stenman, Kaisa Ruuska, Samuli Lahtela, Anssi Karppinen, Raimo Ihme

Tiivistelmä

Biopolymeerit ovat eliöiden tuottamia biomolekyylejä, joista voidaan kemiallisesti muokkaamalla jatkojalostaa saostuskemikaaleja jätevesien käsittelyyn. Tässä hankkeessa tutkittiin biopolymeerien sovellusmahdollisuuksia maatalouden hajakuormituksen vähentämiseen käsittelemällä peltojen valumavesiä biopolymeereillä. Lisäksi selvitettiin biopolymeerikäsittelyssä syntyvän lietteen kierrätysmahdollisuuksia viljelykasvien lannoitteena. Hankkeessa selvitettiin myös biopolymeerejä valmistavien yritysten näkemyksiä biopolymeerien liiketoimintapotentialista, sovellusmahdollisuuksista jätevesien käsittelyssä ja ravinteiden kierrätyksessä.

Hankkeessa tutkittiin useiden erilaisten kemiallisesti muokattujen biopolymeerien (kitiini, tärkkelys ja tanniini) soveltuvuutta maatalouden valumavesien käsittelyyn laboratorionkokeilla. Laboratorionkokeiden perusteella valittiin maastotestaukseen kationisoitu tanniini, ja selvitettiin valitun biopolymeerin käytölle optimaalinen annostus sekä sekoitusolosuhteet. Hankkeessa osoitettiin, että biopolymeerejä voidaan menestyksekkäästi soveltaa maatalouden valuntavesien käsittelyssä maasto-olosuhteissa. Biopolymeereillä saostettiin noin 60-70 % valuntavesien kokonaisfosforista, liukoisesta fosforista ja sameudesta vaihtelun ollessa kuitenkin suurta riippuen mm. käsiteltävän veden laadusta sekä biopolymeerin annostuksesta. Puhdistustulos oli parempi kun käsiteltävän veden haitta-aineiden pitoisuudet olivat korkeampia (noin 100 µg/l) ja biopolymeerin annostus optimaalinen. Veden typpipitoisuus kasvoi lievästi biopolymeerikäsittelyn jälkeen. Hankkeen laboratorionkokeissa havaittiin, että biopolymeerilietteestä liukenee merkittävästi fosforia, typpeä ja sameutta aiheuttavia hiukkasia takaisin veteen kylmissä (lämpötila < 5 °C) olosuhteissa, mutta lämpimässä vedessä (lämpötila > 20 °C) vastaavaa liukenemistä ei tapahtunut.

Pieninä pitoisuuksina (< 10 %) turvekasvualustaan sekoitettuna tai kastelun yhteydessä lisättynä biopolymeerisaostuksessa syntyvä liete paransi rehu- ja viljakasvien kasvua. Tämän hankkeen maastokokeissa muodostuneen lietteen ravinnepitoisuudet olivat alhaisia ja vain pieni osa biopolymeerilietteen sisältämistä ravinteista oli kasveille käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa.

Hankkeessa mukana olleet kyselytutkimukseen vastanneet yritykset näkevät biopolymeerien liiketoimintapotentialin tulevaisuudessa erittäin hyvänä tai melko hyvänä sekä Suomessa että maailmalla. Maatalouden hajakuormituksen vähentämisen lisäksi biopolymeerejä voidaan soveltaa monille muille toimialoille kuten jäteveden puhdistukseen ja kaivosteollisuuteen. Haasteena biopolymeerien käytön yleistymiselle yrityskentällä nähdään myös tuotteiden heikko tunnettavuus alan toimijoiden keskuudessa, ja markkinointi ja muu tunnettavuuden edistäminen onkin tärkeää.

Biopolymeereihin perustuva maatalouden valuntavesien käsittely on vesiensuojeluratkaisuna kallis, joten menetelmän kustannustehokkuutta tulee kehittää paremmaksi. Menetelmän paras kustannustehokkuus maatalouden vesiensuojelussa saavutetaan käsittelemällä tunnettuja pistemäisiä ongelmakuormituslähteitä, joissa on korkeat ravinnepitoisuudet. Biopolymeereihin perustuvan menetelmän laajempi soveltaminen hajakuormituksen hillintään vaatii lisää tutkimusta sekä yhteiskunnallista tukea kustannusten hallintaan.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	4
2. Hankkeen osapuolet ja menetelmät.....	5
2.1. Hankkeen osapuolet.....	5
2.2. Laboratoriokokeet.....	5
2.3. Ruukin maastokokeet.....	6
2.4. Tarvaalan maastokokeet.....	7
2.5. Ruukkukasvatuskokeet.....	9
3. Hankkeen tulokset.....	11
3.1. Laboratoriokokeet.....	11
3.2. Ruukin maastokokeet.....	13
3.3. Tarvaalan maastokokeet.....	16
3.4. Liukenemiskokeet.....	18
3.5. Ruukkukasvatuskokeet.....	20
3.6. Taloudellisuustarkastelu.....	23
3.6.1. Ruukin 2019 maastokokeiden taloudellisuus.....	24
3.6.2. Biopolymeerisaostuksen mahdollisuudet.....	25
3.6.3. Kustannusten vertailu perinteiseen ferrisulfaattisaostukseen.....	25
3.6.4. Kyselytutkimus yrityksille.....	29
4. Viestinnän toteutuminen ja tulokset.....	31
4.1. Viestinnän sisältö.....	31
4.1.1. Tiedotteet ja media.....	31
4.1.2. Lehtijutut.....	32
4.1.3. Artikkelit.....	32
4.1.4. Seminaarit & luennot.....	32
4.1.5. Sosiaalinen media.....	33
5. Hankkeen vaikuttavuus / vaikutukset.....	34
6. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen.....	34
7. Talousraportti.....	35
8. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten.....	36
9. Johtopäätökset ja yhteenveto hankkeesta.....	37
10. Kirjallisuus.....	38

Liitteet:

Liite 1. Vesinäytteiden analyysitulokset Ruukin maastokokeista 2018

Liite 2. Vesinäytteiden analyysitulokset Ruukin maastokokeista 2019

Liite 3. Vesinäytteiden analyysitulokset Tarvaalasta 2018 ja 2019

Liite 4. Biopolymeerilietteen analyysitulokset: Ruukki 2018 ja 2019, Tarvaala 2018 ja 2019

Liite 5. Biopolymeerikysely yrityksille

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Uusien tehokkaiden menetelmien tutkimus ja kehittäminen on keskeistä vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen edistämiseksi. EU:n yhteisen vesipuitteidirektiivin tavoitteena on pintavesien hyvä ekologinen tila, ja tämän saavuttamiseksi tarvitaan uusia tehokkaita vesienkäsittelymenetelmiä erityisesti hajakuormituksen hillintään. Suomessa vesistöjen pääasialliset hajakuormituslähteet ovat maa- ja metsätalous, ja vesistöjen fosforikuormituksesta noin 70 % ja typpikuormituksesta noin puolet on peräisin maataloudesta. Pintavesien hyvän ekologisen tilan saavuttamiseksi ravinnepäästöjen hillitseminen erityisesti maatalouden valumavesistä on tärkeää. Nykyisin ravinne- ja kiintoainekuormitusta pyritään hillitsemään mm. maatalouden ympäristötuella perustetuilla maatalouskosteikoilla. Parhaimmillaan kosteikot toimivat tehokkaasti, mutta ravinteidenpidätyskyvyssä on kuitenkin suurta vaihtelua ja joissain tapauksissa ne eivät toimi juuri ollenkaan.

Tällä hetkellä maanviljelyksessä oleva maaperä ei uusiudu kestävästi ja on riippuvainen keinotekoisista lannoitteista, kuten louhitusta fosforista. Louhittu fosfori on uusiutumaton luonnonvara, jonka tuotannon huippu arvioidaan saavutettavan 2040 luvulla. Väestönkasvun aiheuttama elintarvikesyntyn ja -tuotannon kasvu johtaa todennäköisesti globaaliin fosforipulaan. Maanviljelyksessä vesistöihin huuhtoutuvat ravinteet eivät palaudu takaisin viljelyyn vaan päätyvät kuormittamaan vesistöjä, joten on tarve kehittää uusia luonnonmukaisia menetelmiä, joilla ravinteet saataisiin kierretettyä uudelleen käyttöön. Kiertotalous on merkittävässä roolissa ravinteiden kierrätyksessä. Luonnonmukaisia vesienkäsittelymenetelmiä kehitettäessä erilaiset teollisuuden sivuvirrat ovat potentiaalisia raaka-ainelähteitä myös kotimaassa. Biopolymeerejä voidaan valmistaa maa- ja metsätalouden sekä muun teollisuuden sivuvirroista, mm. puun kuorijätteestä (tanniini) tai perunan tärkkelyksestä.

Keinoja vesistöihin huuhtoutuvien ravinnevarantojen kierrättämiseksi on rajallisesti. Biopolymeerit (esim. kitiini, tanniini, ligniini, tärkkelys) ovat eliöiden tuottamia orgaanisia molekyylejä, joita voidaan kemiallisesti muokata ja käyttää vesien käsittelyssä saostuskemikaaleina. Biopolymeerien etuna perinteisiin rauta- tai alumiinipohjaisiin saostuskemikaaleihin on niiden biohajoavuus ja metallittomuus, minkä ansiosta niihin sitoutuneet ravinteet ovat helpommin kasvien käytettävissä, eikä saostuksessa muodostunut fosforipitoinen liete sisällä metalleja korkeina pitoisuuksina. Perinteisiä vedenpuhdistuskemikaaleja (alumiinikloridi, rautakloridi, rautasulfaatti) käytettäessä haasteena on kemikaalin liukenemisen aiheuttama muutos veden happamuudessa. Biopolymeerit eivät aiheuta happamuus- tai metallihaittoja. Biopolymeerien kaupallinen saatavuus, tuotanto ja tunnettavuus Suomessa on vielä heikkoa, mutta muualla maailmalla niitä on käytetty menestyksekkäästi jätevesien käsittelyssä.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää biopolymeereihin pohjautuva menetelmä maatalouden valumavesien käsittelyyn ja erityisesti fosforin talteenottoon. Menetelmässä syntynyttä fosforipitoista biopolymeerilietettä käytettiin lannoitteena ruukkukasvatuskokeissa, joilla tutkittiin sen soveltuvuutta kierrätyslannoitteeksi eri viljelykasveille. Hankkeessa kehitetyn vesiensuojelu- ja ravinteidenkierrätysmenetelmän puitteissa pyrittiin myös luomaan yrityksille liiketoimintamahdollisuuksia biopolymeerien hyödyntämiseen liittyen, kartoittamaan yritysten tarpeita ja tavoitteita biopolymeerien kaupallistamiseen liittyen sekä tarjottiin mahdollisuus hyödyntää hankkeen tuloksia liiketoiminnan kehittämiseksi.

Hanke sai rahoituksen ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen ja vesien- ja merenhoidon ohjelmasta.

2. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

2.1. Hankkeen osapuolet

Hanke toteutettiin Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) yhteishankkeena. SYKE oli hankkeen päätoteuttaja ja vastasi hankehallinnosta sekä biopolymeerien laboratoriotutkimuksista. Hankkeen kokeellista osiota toteutettiin SYKEN toimesta Ruukin maastokohteella sekä JAMKn toimesta Tarvaalan Biotalouskampuksen kosteikolla. JAMKn vastuulla oli selvittää biopolymeerilietteen lannoitekäyttöä ruukkukasvatuskokein. SYKE vastasi yrityksille suunnatun kyselyn suunnittelusta ja toteutuksesta. Molempien toteuttajat osallistuivat aktiivisesti hankeviestintään ja raportointiin. Haarla Oy, Chemigate Oy, BioSO4 Oy ja Wellgreen Technology Co tarjosivat hankkeen tutkimuksiin biopolymeerejä.

2.2. Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeissa tutkittiin useiden erilaisten kitosaanien (valmistajat: Wellgreen Technology Co, BioSO4 Oy), tärkkelyksen (Chemigate Oy) ja tanniinin (Haarla Oy) (Taulukko 1) soveltuvuutta maatalousvesien käsittelyyn käyttäen sekoituslaitteistoa (Phipps & Bird, PB-900 series programmable JarTester) (Kuva 1). Laboratoriokokeisiin käytettiin Ruukin kuivatusojan ja Tarvaalan kosteikon vettä, jotta saatiin tietoa optimaalisesta biopolymeerin annostuksesta maastokokeita varten. Laboratoriokokeissa verrattiin eri biopolymeerien kykyä saostaa fosforia, vähentää veden sameutta ja orgaanisen hiilen määrää, sekä määritettiin biopolymeerien optimaalinen annostus ja sekoitusolosuhteet. Laboratoriokokeet toteutettiin valtaosin 2018 helmi-toukokuun aikana. Kokeita varten biopolymeeri laimennettiin veteen niin, että vaikuttavan aineen pitoisuus oli 1 %.

Taulukko 1. Laboratoriossa tutkittujen biopolymeerien kauppanimet.

Kaupp nimi	Biopolymeeri
TanFloc (HTH)	Tanniini
TanFloc (HTG)	Tanniini
PrimePhase 2545	Tärkkelys
PrimePhase 3545	Tärkkelys
PrimePhase 3545x10	Tärkkelys
PrimePhase CGKT	Tärkkelys
Kitosaani (Elintarvikelaatu)	Kitiini

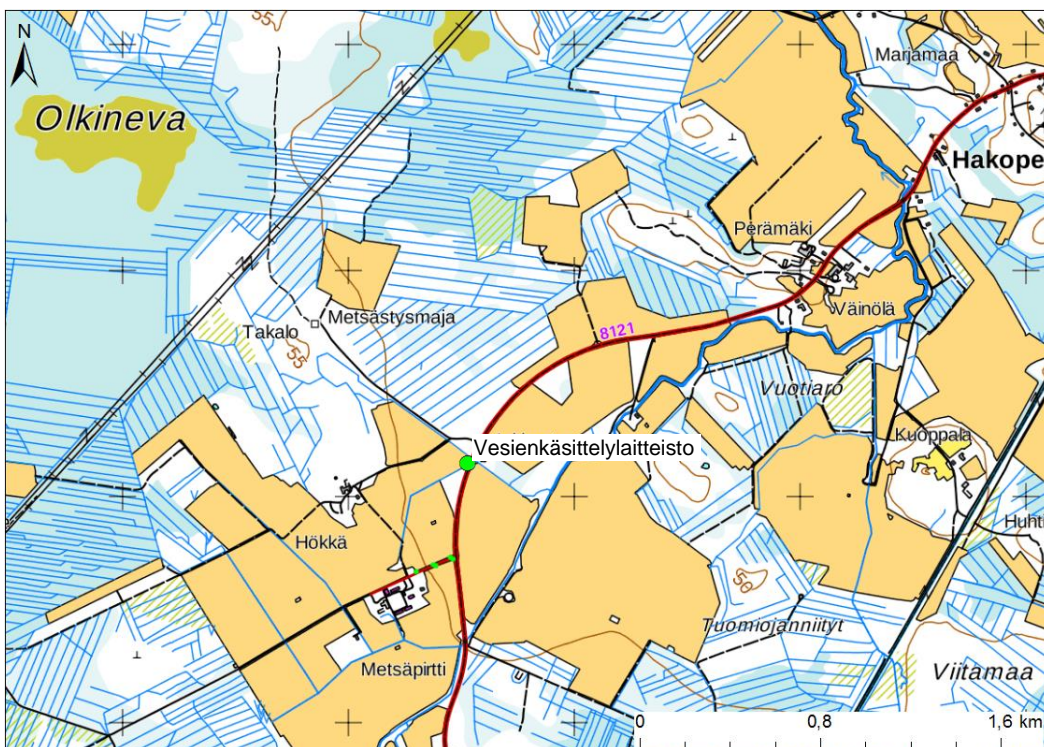
Maastokokeissa syntyneellä biopolymeerilietteellä tehtiin laboratoriomittakaavan kokeita, joilla seurattiin ravinteiden liukenemista biopolymeerilietteestä. Kokeissa tutkittiin ravinteiden liukenemista huoneenlämmössä (n. 21 °C), sekä kylmissä olosuhteissa (n. 4 °C). Kokeissa lisättiin 2 desilitraa biopolymeeripitoista lietettä 0.785 litran astioihin, joihin laitettiin lietteen lisäksi kraanavettä, niin, että astiat olivat pintaan asti täynnä. Astioita oli yhteensä 8 kappaletta kussakin lämpötilassa. Koe toteutettiin 7.1.–25.2.2019 välisenä aikana, jolloin mitattiin viikoittain aina yhden astiaporin (mitaukset lämpimästä ja kylmästä) veden laatua (kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, nitriitti- ja nitraattityppi, pH, sameus, orgaaninen kokonaishiili). Astioiden vettä sekoitettiin varovasti päivittäin (viikonloput pois lukien).



Kuva 1. Jar-testilaitte. Laittimmaisessa astiassa vasemmalla on käsittelemätöntä Ruukin pelto-ojan vettä, muissa eri biopolymeereillä käsiteltyä vettä. Kuva: Jarno Turunen.

2.3. Ruukin maastokokeet

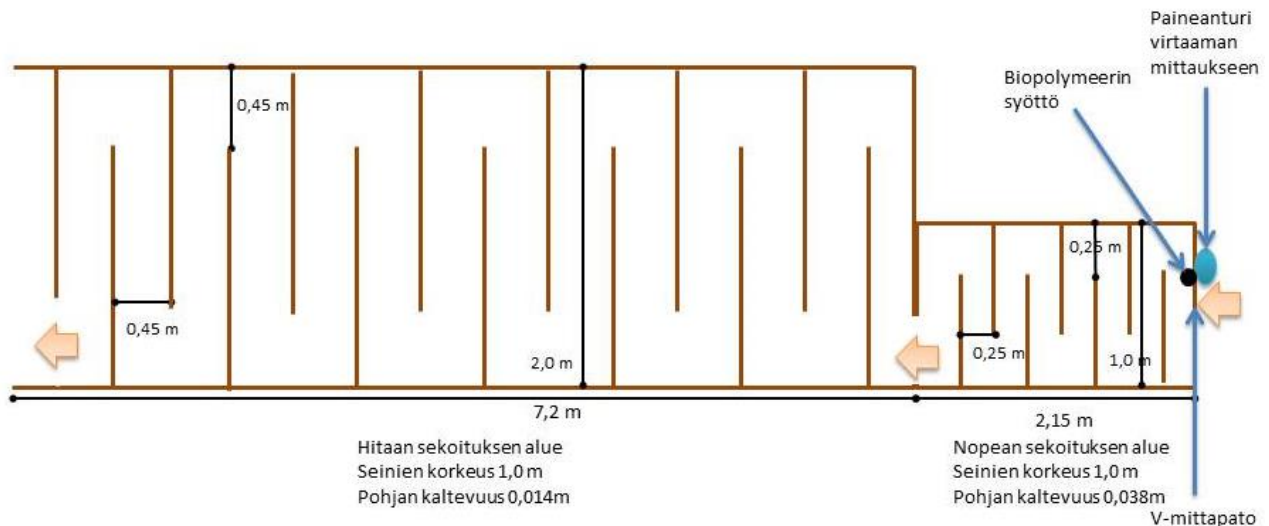
Maastokokeita toteutettiin Siikajoen Ruukissa sijaitsevan yksityisen maatilan kuivatusojassa, jonka valuma-alue oli 0,18 km² ja joka kulki laidun- tai viljelymaiden läpi (Kuva 2). Maastokokeita tehtiin Ruukissa vuosina 2018 ja 2019. Syksyllä 2018 ehdittiin biopolymeerisaostuksen toimintaa seurata vain muutaman päivän ajan lokakuun lopulla ennen veden jäätymistä. Keväällä 2019 toteutui 10 vuorokauden mittainen koejakso. Ruukin koekohteella ei voitu hankkeen aikana toteuttaa enempää kokeita historiallisen kuivan kesän vuoksi.



Kuva 2. Ruukin koekohteen sijainti.

Ojaan rakennettiin vesienkäsittelylaitteisto, joka koostui staattisesta sekoitusjärjestelmästä (Kuva 3), sen yhteydessä olevasta V-mittapadosta, pinnankorkeutta mittaavasta paineanturista ja auto-maattisesta pumppauslaitteistosta. Paineanturi mittasi veden pinnankorkeutta, joka muutettiin vir-

taamatiedoksi ja automaattisesti toimiva pumppu annosteli biopolymeeriä suhteessa 1/2000 virtaamaan nähden. Laitteiston toimintaa ja mm. virtaamatietoja pystyttiin seuraamaan reaaliaikaisesti netissä EHP Tekniikan tarjoaman tietopalvelun avulla. Biopolymeerin annostelun jälkeen vesi kulki sekoitusjärjestelmässä, jonka kapeammalla alkuosalla luotiin nopean sekoituksen olosuhteet ja leveämmässä loppuosassa vettä sekoitettiin hitaammin. Sekoituksen aikana muodostuneet flokit laskeutettiin sekoitusjärjestelmän jälkeen rakennettuun laskeutusaltaaseen, joka oli 12 metriä pitkä ja 3 metriä leveä.

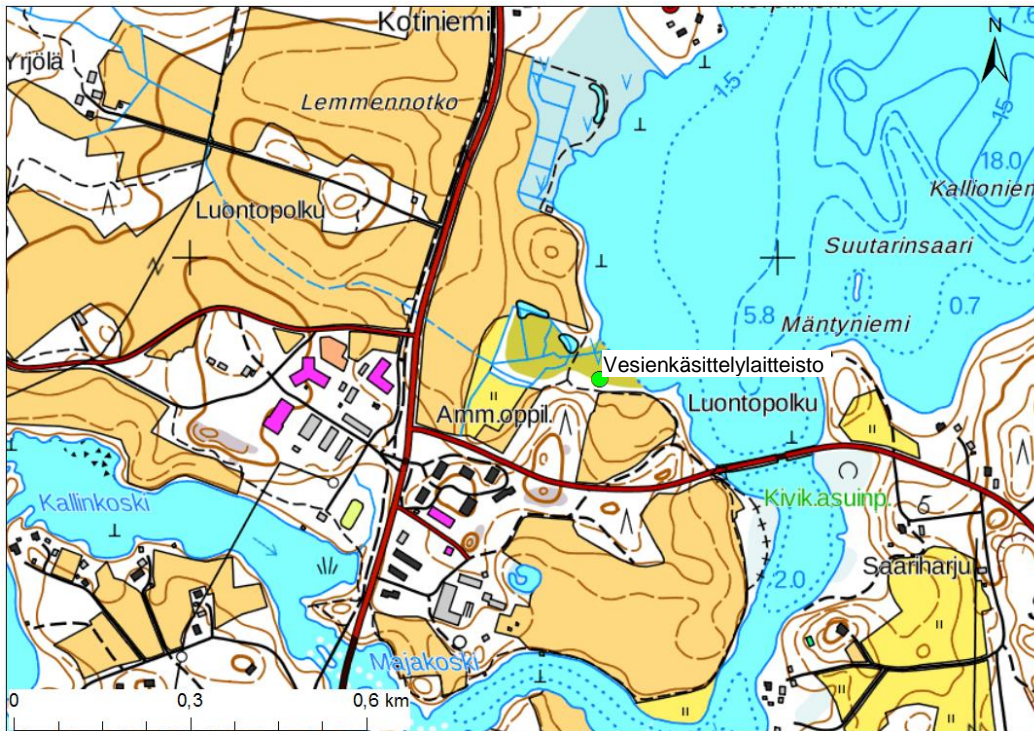


Kuva 3. Kaaviokuva Ruukkiin rakennetusta staattisesta sekoitusjärjestelmästä.

Veden laatua seurattiin ottamalla koejaksojen aikana yhtäaikaiset vesinäytteet viitenä päivänä mittapadon etupuolelta ennen biopolymeerikäsittelyä ja laskeutusaltaan loppupäästä käsittelyn jälkeen. Vesinäytteet analysoitiin Suomen ympäristökeskuksen akreditoitussa laboratorioissa ja niistä määritettiin kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, sameus, kiintoaine, kokonaistyppi, nitriitti-nitraattityppi, ammoniumtyppi, orgaaninen hiili sekä metallipitoisuudet. Veden laatua seurattiin myös jatkuvatoimisilla mittalaitteilla (EXO2 Multiparameter Sonde, YSI, Inc.).

2.4. Tarvaalan maastokokeet

Tarvaalan maastokohde oli Saarijärvellä sijaitsevan Tarvaalan Biotalouskampuksen rakennettu maatalouskosteikko, jonka valuma-alue on 139 ha (Kuva 4). Tarvaalan kosteikolla toteutettiin maastokokeita vuosina 2018 ja 2019 (Taulukko 2).



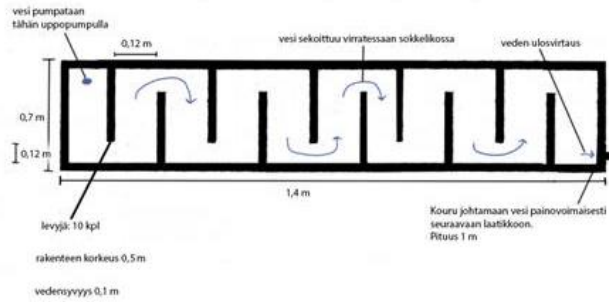
Kuva 4. Tarvaalan Biotalouskampukselle rakennetun vesienkäsittelylaitteiston sijainti.

Taulukko 2. Tarvaalan Biotalouskampuksen kosteikolla suoritettavat koeajot ja tutkitut biopolymeeriannokset.

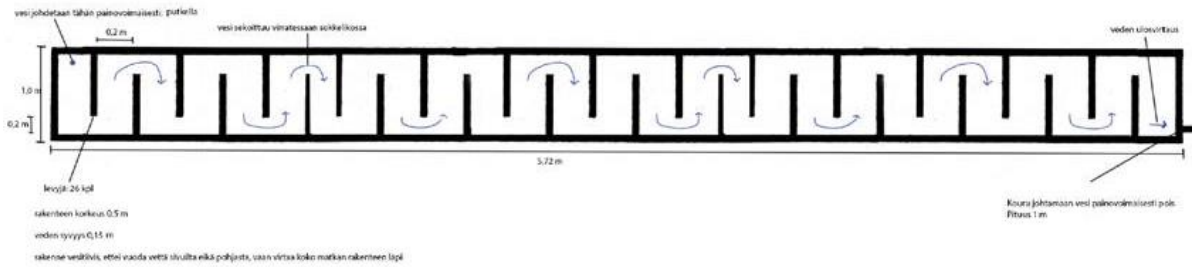
Päivämäärä	Biopolymeerin annos
3. - 5.10.2018	6 ml / l
8. - 9.10.2018	6 ml / l
9.5.2019	6 ml / l
13.5.2019	6 ml / l
15. - 17.5.2019	6 ml / l
20. - 23.5.2019	6 ml / l
10. - 13.6.2019	4 ml / l
17. - 19.6.2019	4 ml / l
29.7 - 1.8.2019	8 ml / l
5. - 7.8.2019	8 ml / l
26. - 29.8.2019	8 ml / l
16. - 17.9.2019	8 ml / l

Kosteikon yhteyteen asennettiin sekoitusjärjestelmä (Kuva 5) ja rakennettiin lasketusallas. Kosteikolta tulevaa vettä pumpattiin sekoitusjärjestelmään, johon biopolymeeriä pumpattiin erilaisilla annostelusuhteilla. Biopolymeeriflokit laskeutettiin laskeutusaltaaseen. Saostuksen tehoa ja vaikutuksia seurattiin ottamalla koeajojen aikana vesinäytteitä käsittelyyn tulevasta vedestä sekä laskeutusaltaan loppupäästä. Vesinäytteet analysoitiin Tarvaalan Biotalouskampuksen laboratorioissa.

Sekoituslaatikon (nopea) rakennepiirros ylhäältä päin kuvattuna



Sekoituslaatikon (hidas) rakennepiirros ylhäältä päin kuvattuna



Kuva 5. Tarvaalan Biotalouskampukselle rakennettujen sekoitusjärjestelmän rakennepiirros.

2.5. Ruukkukasvatuskokeet

Fosforin saostuksessa syntyvän biopolymeeriä sisältävän lietteen vaikutusta kasvien kasvuun tutkittiin ruukkukokeilla Jyväskylän ammattikorkeakoulussa. Ruukkukokeet toteutettiin vuosina 2018 ja 2019. Ensimmäinen ruukkukoe suoritettiin marras-joulukuussa 2018 VTT:n Kompostin kypsyyssitestit menetelmäohjeet -julkaisun mukaan (5.1 fytooksisuus) (Itävaara et al. 2006). Kasvitestissä testataan kompostin eli kasvualustan aiheuttamaa kasvun estymistä. Ruukkukokeessa tutkittiin, estääkö liete kasvien kasvua ja hyötykö jokin kasvi kasvullisesti lietteestä. Kasvitestiä varten valittiin kasvitestin ohjeen mukaisesti kolme kasvia: kiinankaali, krassi ja rairuoho, jotka edustivat kolmea eri kasviryhmää.

Vuoden 2018 ruukkukoe sisälsi kolme rinnakkaista näytettä jokaiselle kasvualustalle. Kasvualustaja eli koejäseniä olivat: turve (kontrolli), turve + Tarvaalan biopolymeeriliete sekä ja turve + Ruukin biopolymeeriliete (Taulukko 3). Biopolymeeriliete kuivattiin ja sekoitettiin turpeeseen. Turpeen ja biopolymeerilietteen seossuhde oli 1 osa biopolymeeriliettä ja 12 osaa turvetta, koska Viherympäristöliiton antamien suositusten mukaan rajoitettujen kasvualustojen johtokyvyn tulisi olla alle 50 mS/m. Tätä suurempi johtokyky voi vaikuttaa kasvien kasvuun negatiivisesti. Kokeen kesto oli 14 vrk, jonka jälkeen ruukut valokuvattiin, punnittiin, taimet leikattiin mullan pinnasta ja taimien lukumäärä laskettiin. Kasveista määritettiin tuorepaino ja kuivapaino. Ennen varsinaisten tulosten laskemista määritettiin siementen itävyys. Jokaiselle kylvetylle ruukulle laskettiin itävyysprosentti. Itävyyttä voidaan pitää epäluotettavana, jos itävyysprosentti on alle 90 %.

Taulukko 3. Ruukkukasvatuskokeissa 2018 käytetty koeasetelma.

Käsittelyryhmä	Kekkilä VHM 620	Tarvaalan liete, kuivattu	Ruukin liete, kuivattu
	litraa	litraa	litraa
Turve, kontrolli	0,7		
Turve + Tarvaalan liete 8 %	0,66	0,06	
Turve + Ruukin liete 8 %	0,66		0,06

Toinen ruukkukoe suoritettiin heinäkuussa 2019, jolloin tutkittiin biopolymeeriä sisältävän lietteen vaikutusta kiinankaalin ja ohran itämiseen ja kasvuun. Erona ensimmäiseen ruukkukokeeseen oli

vat erilaiset seossuhteet. Ruukkukokeissa Tarvaalan ja Ruukin lietteitä käytettiin kuivattuna jauheena eri seossuhteissa kasvualustaan sekoitettuna sekä lietemäisenä kahden käsittelyryhmän ruukkujen kasteluun. Seosmateriaalina käytettiin peruslannoitettua ja kalkittua vaaleaa rahkaturvetta. Käsittelyryhmiä oli yhdeksän (Taulukko 4). Lietteillä kasteltavissa käsittelyryhmissä sekä kontrolliryhmässä kasvualustat olivat 100 prosentista turvetta. Muissa käsittelyryhmissä Tarvaalan sekä Ruukin kuivattuja lietteitä sekoitettiin turpeeseen 10, 30 ja 50 prosentin seossuhteilla (Taulukko 4). Jokaiselle käsittelyryhmälle oli kolme replikaattiruukkua per kasvilaji.

Jokaiseen ruukkuun kylvettiin kymmenen kiinankaalin tai ohran siementä. Ruukut aseteltiin arvot tuun järjestykseen hyllyille, joiden yläpuolella oli kasvivalot. Itämisen jälkeen ruukkuja kasteltiin kolme kertaa viikossa siten, että kaksi käsittelyryhmää kasteltiin lietteillä ja muiden ruukkujen kasteluun käytettiin vesijohtovettä. Ruukkukokeet kestivät yhteensä 14 päivää, jonka jälkeen laskettiin ruukkukohtaiset kasvien itävyydet sekä tuore- ja kuivapainot. Tuloksien tarkastelussa käsittelyryhmien tuloksia verrattiin kontrolliryhmään, eli 100 prosenttisessa turpeessa kasvaneiden kasvien tuloksiin. Tulosten laskennassa huomioitiin myös ruukkukohtainen itävyys.

Kasvatuskokeita ja lietteen käytettävyyden analysointia varten määritettiin lietteen sisältämät ravinnepitoisuudet sekä metallipitoisuudet ulkopuolisessa laboratoriossa.

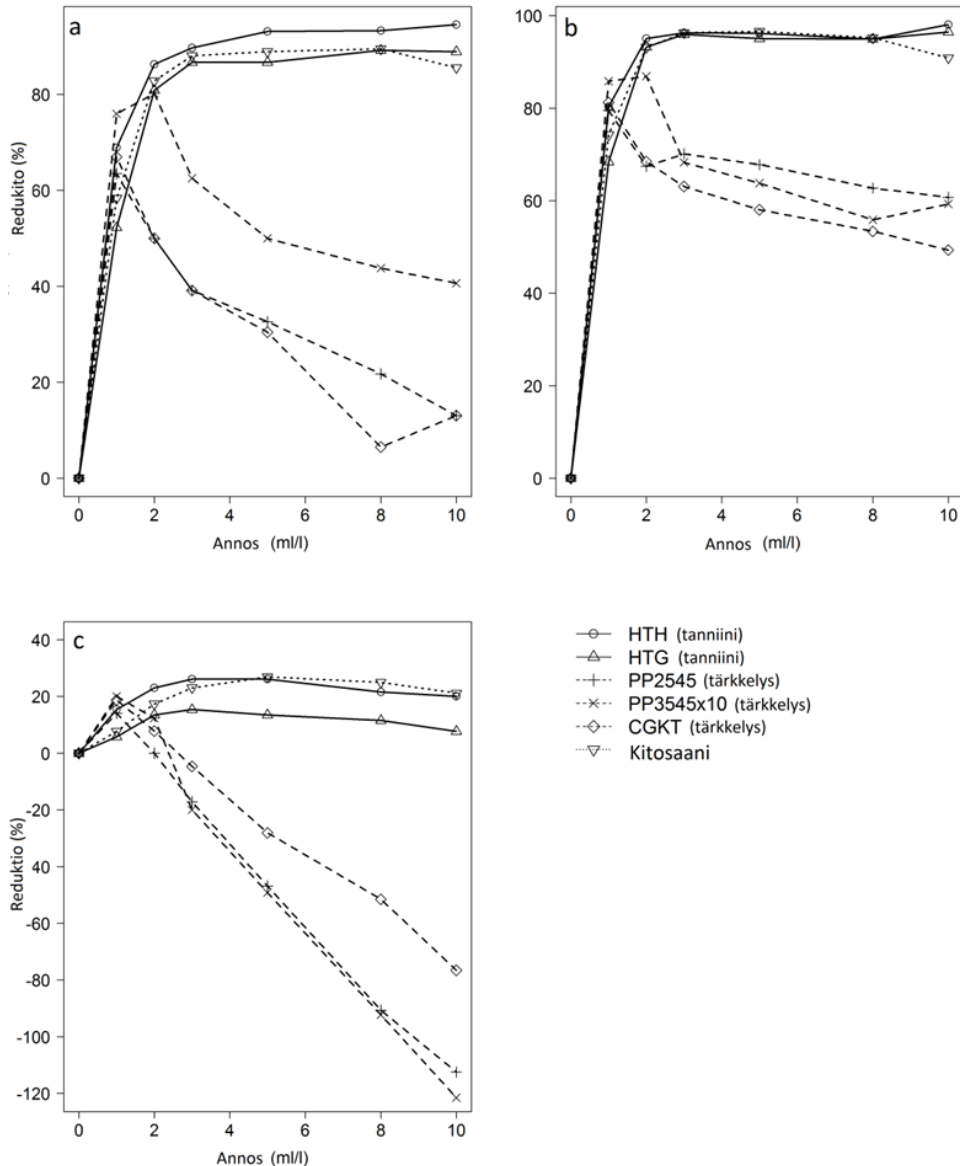
Taulukko 4. Vuoden 2019 ruukkukokeiden käsittelyryhmät sekä lannoituksessa käytetyt lietteet ja niiden osuudet seoksissa.

Käsittelyryhmä	Kekkilä Turve VHM 620	Tarvaalan liete, kuivattu	Ruukin liete, kui- vattu
	litraa	litraa	litraa
Turve, kontrolli	2		
Turve, lietekastelu (Tarvaalan liete)	2		
Turve, lietekastelu (Ruukin liete)	2		
Turve + Tarvaalan liete 10 %	1,8	0,2	
Turve + Tarvaalan liete 30 %	1,4	0,6	
Turve + Tarvaalan liete 50 %	1	1	
Turve + Ruukin liete 10 %	1,8		0,2
Turve + Ruukin liete 30 %	1,4		0,6
Turve + Ruukin liete 50 %	1		1

3. Hankkeen tulokset

3.1. Laboratoriokokeet

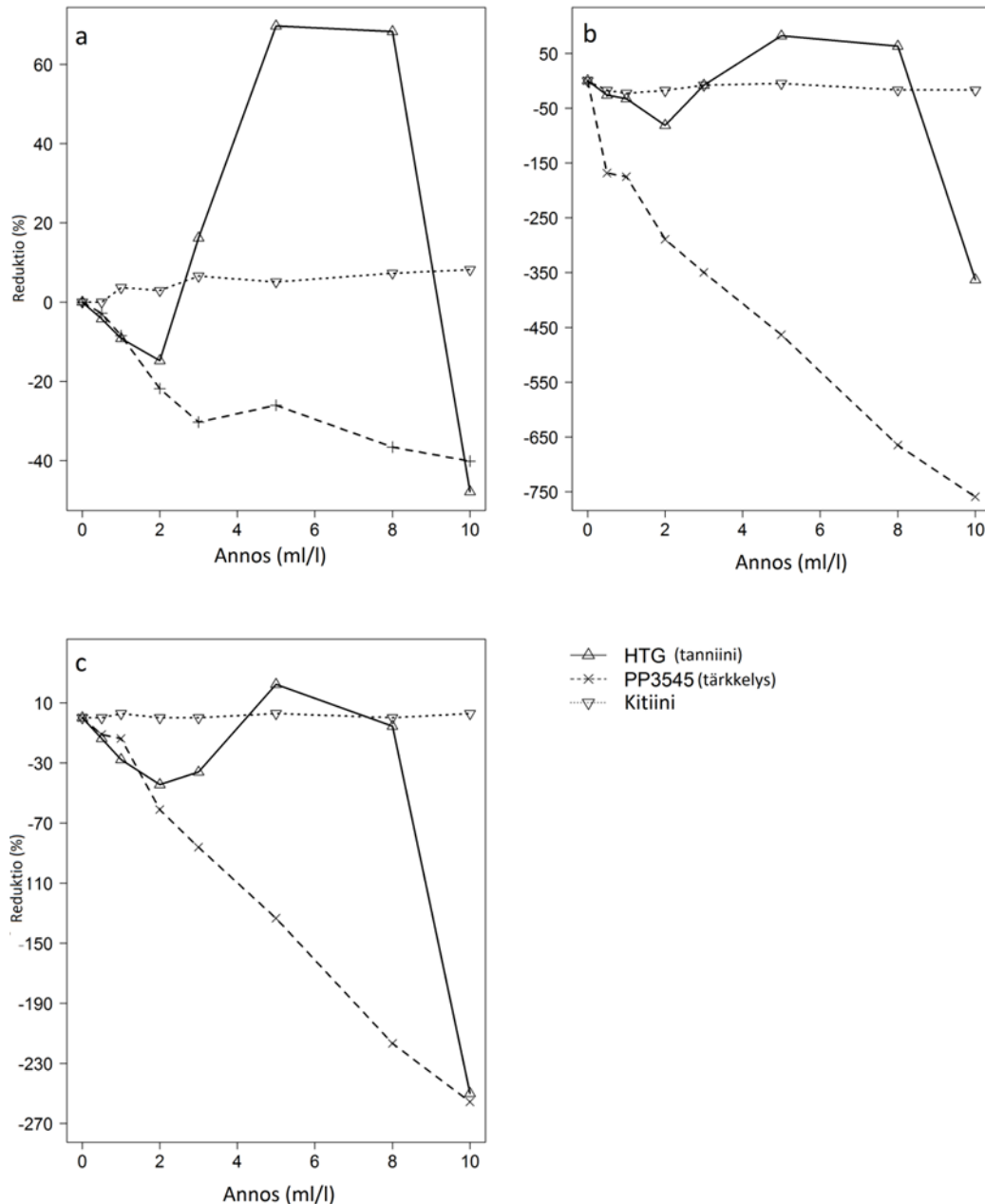
Laboratoriokokeissa verrattiin eri biopolymeerien vesienkäsittelyn tehokkuutta ja optimaalista annostusta kahdella kemialliselta koostumukseltaan erilaisella maatalouden valumavedellä. Ruukin pelto-ojan vedestä saatiin tanniinilla ja kitosaanilla poistettua parhaimmillaan noin 90 – 95 % veden kokonaisfosforipitoisuudesta ja sameudesta (Kuva 6). Tärkkelyspohjaisilla biopolymeereillä poisto oli parhaimmillaan 65 – 80 %. Orgaanisen kokonaishiilen osalta poisto oli noin 15 – 25 %. Tanniinilla ja kitosaanilla parhaimmat poistot saavutettiin noin 5 – 10 ml/l annoksilla, mutta jo 2 – 3 ml/l annos antoi lähes saman tuloksen (Kuva 6). Tärkkelyspohjaisilla biopolymeereillä paras tulos saavutettiin 1 – 2 ml/l annoksilla (Kuva 6).



Kuva 6. Kokonaisfosforin (a), sameuden (b) ja orgaanisen kokonaishiilen (c) prosenttireduktiot Ruukin pelto-ojan vedestä eri annoksilla eri biopolymeerejä.

Tarvaalan kosteikon vedessä oli selvästi pienempi fosforipitoisuus ja veden sameus kuin Ruukin pelto-ojan vedessä. Kitosaani- ja tärkkelyspohjaiset biopolymeerit eivät osoittautuneet toimiviksi Tarvaalan kosteikon vedessä (Kuva 7). Eri tärkkelyspohjaisten biopolymeerilaatujen testaus, annoksen pienentäminen tai sekoitusohjelman muuttaminen eivät vaikuttaneet lopputulokseen. Tanniinipohjainen biopolymeeri (HTG) vähensi kokonaisfosforia ja sameutta noin 70 – 80 %, kun

biopolymeerin annos oli 5 – 8 ml/l (Kuva 7). Myös toinen tanniinipohjainen biopolymeeri (HTH) toimi lähes identtisesti. Kun kationisoidun tanniinin annosta nostetaan, puhdistustulos heikkenee (Kuva 7). Tämä johtuu saostusprosessin fysikaalis-kemiallisista reaktiomekanismeista, erityisesti kationisoidun molekyylin ja vesiliuoksen anionisten epäpuhtauksien välillä tapahtuvasta varauksen neutraloinnista ja sen saavuttamasta tasapainosta. Kationinen tanniinimolekyyli reagoi anionisten partikkeleiden kanssa muodostaen flokkeja kunnes anioniset varaukset on neutralisoitu ja saavutetaan maksimipuhdistusteho. Jos kationisen tanniinin annostusta edelleen nostetaan, liuoksessa muodostuu ylimääräisten kationisten varausten vuoksi epätasapaino, joka purkaa sidoksia jolloin puhdistusteho heikkenee. (Turunen *et al.* 2019, Szyguła *et al.* 2009)

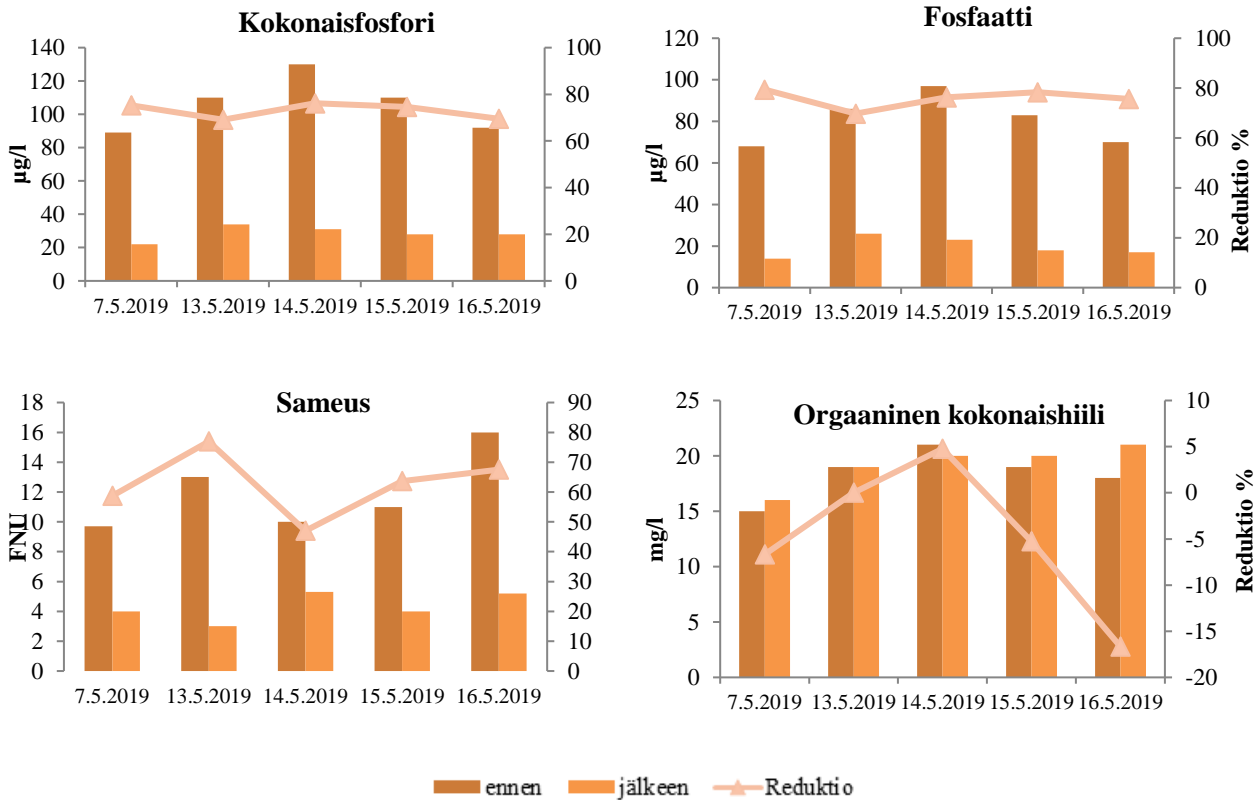


Kuva 7. Kokonaisfosforin (a), sameuden (b) ja orgaanisen kokonaishiilen (c) prosentireduktiot Tarvaalan kosteikon vedestä eri annoksilla eri biopolymeerejä.

Laboratoriokokeissa saatujen tulosten perusteella päädyttiin siihen, että maastokokeissa käytetään tanniinipohjaista Haarla Oy:n biopolymeeriä (HTH), koska se osoittautui toimintavarmimmaksi biopolymeeriksi eri laatuissa vesissä sekä erilaisilla annoksilla ja sekoitusolosuhteilla.

3.2. Ruukin maastokokeet

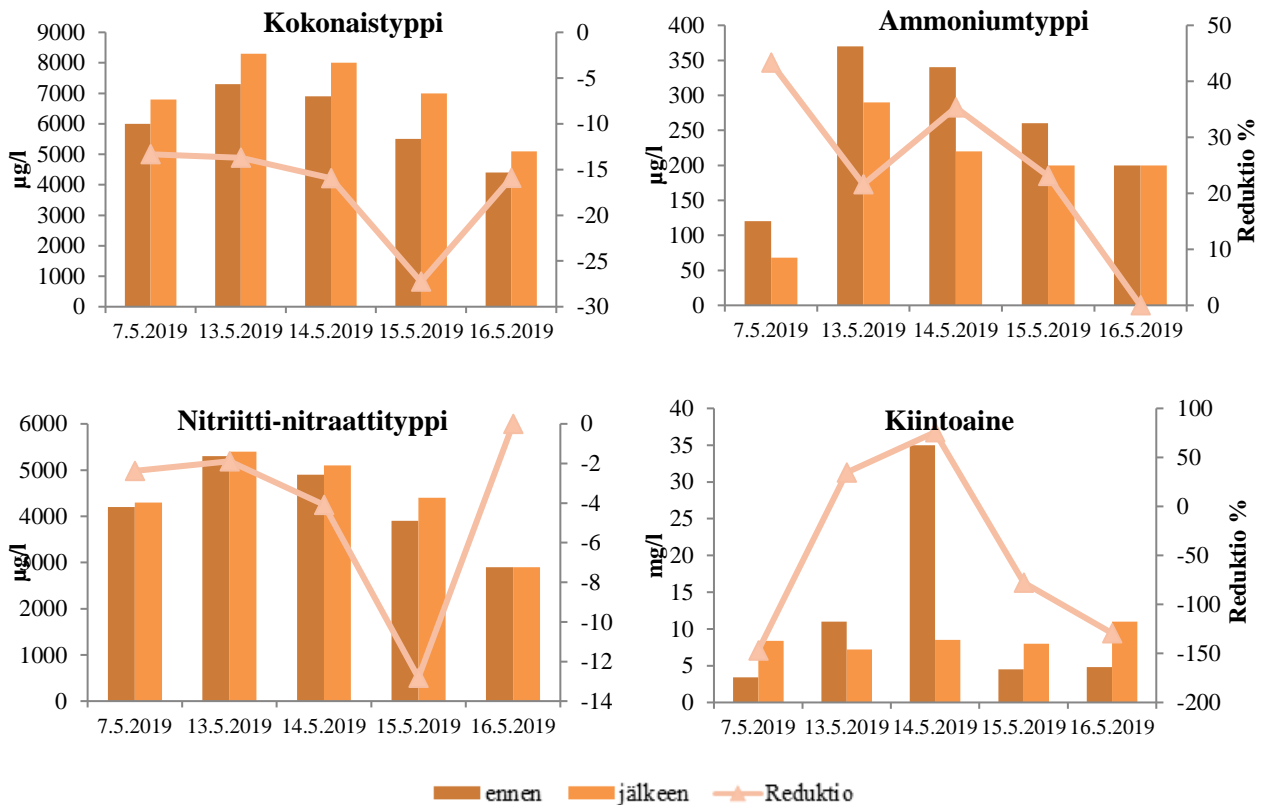
Vuonna 2019 Ruukin koeohjelmalla maastokokeet aloitettiin toukokuussa 10 vrk mittaisella koejaksoilla, jonka aikana otettiin viidet vesinäytteet ja vedenlaatua seurattiin myös jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien tulokset on koottu liitteeseen 2. Tulokset julkaistiin syksyllä 2019 ilmestyneessä Vesitalous-lehden artikkelissa (Turunen et al. 2019 b). Koejakson aikana kuivatusosan veden kokonaisfosforipitoisuus vaihteli 89 – 130 µg/l välillä ja reduktio biopolymeerikäsittelyn jälkeen oli keskimäärin 73 %. Veden fosfaattipitoisuuden reduktio oli keskimäärin 76 % ja veden sameuden keskimäärin 63 % (Kuva 8).



Kuva 8. Vesinäytteistä mitattu veden kokonaisfosforin, fosfaatin, sameuden ja orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet eri päivinä ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen käsittelyn sekä reduktiot laskettuna prosentteina pitoisuuksista. (Turunen et al. 2019 b)

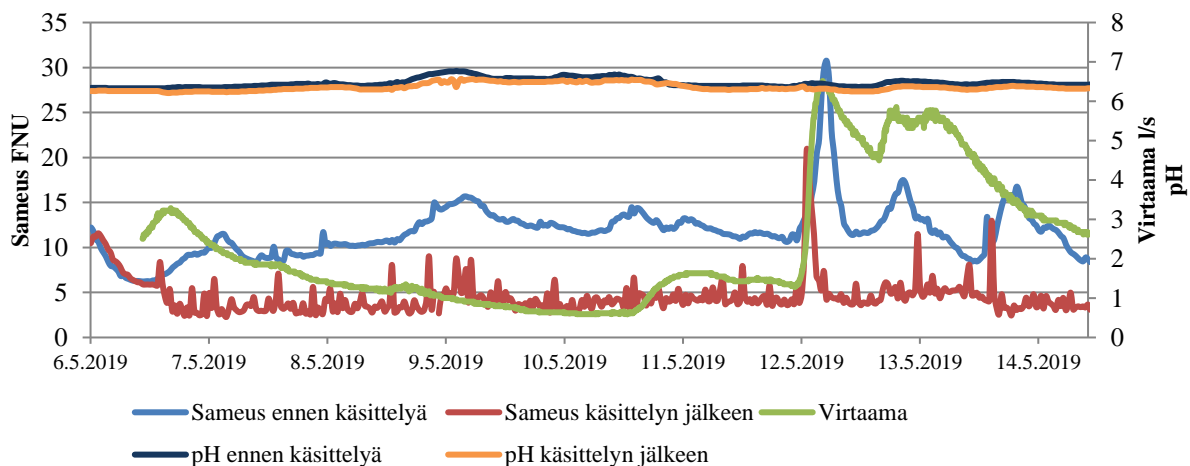
Orgaanisen kokonaishiilen ja nitriittinitraattitypen määrä kasvoi keskimäärin noin 5 % käsittelyn jälkeen (Kuva 9 ja 10). Kokonaistyyppipitoisuuden vaihteluväli oli 4400 – 7300 µg/l ja se nousi käsittelyn jälkeen 5100 – 8300 µg/l pitoisuuksiin (kasvu keskimäärin 17 %). Typen fraktioiden ja orgaanisen kokonaishiilen kasvun voidaan olettaa johtuvan veteen jääneestä reagoimattomasta kationisoidusta tanniinista. Kiintoainepoisto oli tehokasta (noin 75 % reduktio) jos käsiteltävän veden kiintoainepitoisuus oli korkea (35 µg/l) (Kuva 9). Veden pienemmillä pitoisuuksilla kiintoainepitoisuus kasvoi käsittelyn jälkeen luultavasti laskeutumattomien biopolymeeriflokkien vuoksi.

Biopolymeerikäsittely vähensi myös joidenkin veden metallialkuaineiden pitoisuuksia. Korkeimmat reduktiot metallien osalta saavutettiin uraanin (82 %), molybdeenin (80 %) ja raudan (78 %) kohdalla (Liite 2).



Kuva 9. Vesinäytteistä mitattu veden kokonaistyyppien, ammoniumtyypin, nitriitti-nitraattityypin ja kiintoaineen pitoisuudet eri päivinä ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen sekä reduktiot laskettuna prosentteina pitoisuuksista. (Turunen et al. 2019 b).

Jatkuvatoimisilla mittauksilla havaittiin, että käsittelyn jälkeen vesi oli selvästi kirkaampaa (alhainen sameus) koko koejakson ajan myös virtaamahuippujen aikana (Kuva 10). Veden pH ennen käsittelyä oli keskimäärin 6.5 ja käsittelyn jälkeen 6.4, joten biopolymeerisaostuksella ei ollut merkittäviä vaikutuksia veden pH:hon.



Kuva 10. Jatkuvatoimisesti mitattu virtaama sekä veden sameus ja pH ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen. (Turunen et al. 2019 b).

Vuonna 2018 poikkeuksellisen kuivan kesän vuoksi Ruukin kuivatusojassa (Kuva 11) oli riittävästi vettä vasta aivan lokakuun loppupuolella muutaman päivän ajan, ennen kuin kokeet jouduttiin lopettamaan veden jäätyneen vuoksi. Vesinäytteitä otettiin kolmena päivänä (19.10, 22.10 ja 23.10), jolloin tulevan veden fosfaattifosforipitoisuus oli keskimäärin 23,3 µg/l (vaihteluväli 20 – 24 µg/l) ja se väheni käsittelyssä keskimäärin 50 % (8 – 77 %). Tulevan veden kokonaisfosforipitoi-

suus oli keskimäärin 45,6 µg/l (43 – 50 µg/l) ja reduktio 39 % (2 – 59 %). Vesinäytteiden tulokset on koottu liitteeseen 1.



Kuva 11. Maastokoejärjestelyt Ruukin koealueella vuonna 2018.

Ruukin vuoden 2018 kokeissa kiintoainepitoisuus ja sameus kasvoivat veden käsittelyn jälkeen. Kiintoaine pitoisuus nousi keskimäärin 130 %, käsittelyyn tulevassa vedessä kiintoainetta oli keskimäärin 3,5 mg/l ja käsittelyn jälkeen 8 mg/l. Sameus kasvoi keskimäärin 74 % ja se oli ennen käsittelyä keskimäärin 4,4 FNU ja käsittelyn jälkeen 7,6 FNU. Kiintoainepitoisuuden ja sameuden nousuun saattaa olla syynä biopolymeeriflokkien päätyminen näytteisiin sekä lasketusaltaan törmän eroosiosta johtuva veden sameneneminen lasketusaltaassa. Koska allas rakennettiin samana kesänä, syntyi kaivamisessa ja maan läjityksessä runsaasti paljasta maata, johon kasvillisuus ei ollut ehtinyt levittäytyä. Toisaalta jatkuvatoimisilla mittalaitteilla mitattuna veden sameus oli selvästi pienempi biopolymeerikäsittelyn jälkeen, mikä vastaa luultavasti paremmin todellista vaikutusta kuin hetkellistä tilannetta kuvaavat vesinäytteet.

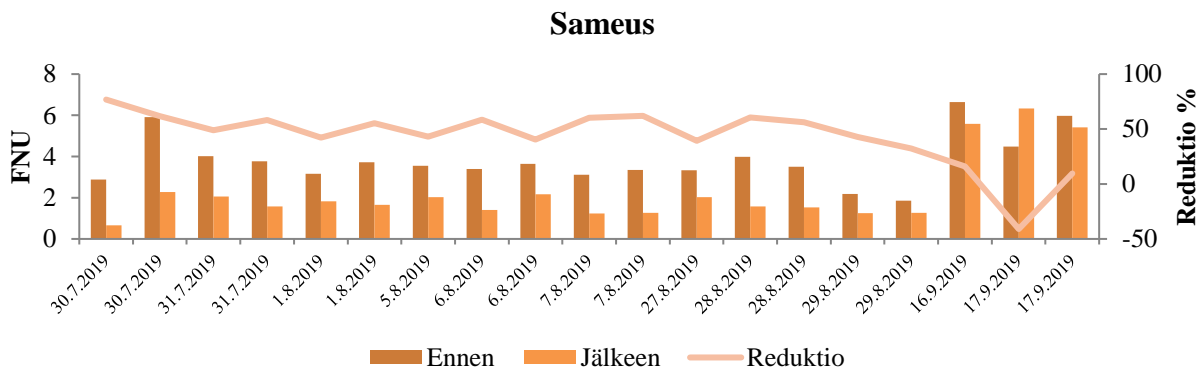
Liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus laski keskimäärin 10,6 %, mutta orgaanisen kokonaishiilen pitoisuuksiin biopolymeerikäsittelyllä ei ollut merkittävää vaikutusta Ruukissa reduktion ollessa vain 1,5 %. Kokonaistypen pitoisuus tulevassa vedessä oli keskimäärin 5000 µg/l ja se kasvoi keskimäärin 35 %. Nitriitin pitoisuus kasvoi keskimäärin noin 52 % ja ammonium-typen noin 980 %, mutta nitraatti-typen pitoisuus väheni noin 15 %. Ammonium-typpeä oli keskimäärin noin 20 µg/l ennen biopolymeerikäsittelyä ja 130 µg/l käsittelyn jälkeen. Typen eri fraktioiden määrän nousu voi johtua reagoimattomasta biopolymeeristä, jota on jäänyt veteen ja sen mikrobiologisesta hajoamisesta laskeutusaltaassa. Kationisoitu tanniini sisältää kvaternäärisen typpiryhmän, joka antaa tanniinille positiivisen varauksen ja mahdollistaa sen reagoimisen vedessä olevien negatiivisesti varautuneiden epäpuhtauksien kanssa (Beltrán-Heredia & Sánchez-Martin 2009).

Ruukin jatkuvatoimiset vedenlaatumittarit mittasivat useita eri vedenlaatuparametreja puolen tunnin välein sekoitusjärjestelmän ylävirran puolelta ennen käsittelyä ja laskeutusaltaan loppupäästä käsittelyn jälkeen. Koska vesienkäsittelylaitteisto oli toimintatilassa vain muutaman päivän ajan (15.10.–23.10.2018), tarkasteltiin mittaustuloksia vain tältä ajan jaksolta. Jatkuvatoimisten mittausdatan perusteella veden sameuden reduktio oli koejakson aikana keskimäärin 59 % ja orgaani-

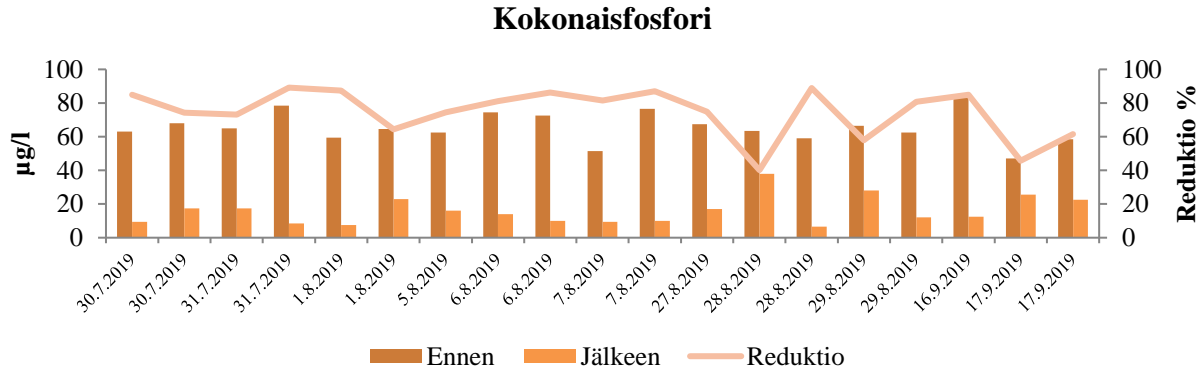
sen aineksen määrän (humuspitoisuus) reduktio oli orgaanisen aineen fluoresenssinä mitattuna keskimäärin 29 %. Veden sähkönjohtavuuteen (reduktio -0,5 %) ja happamuuteen (reduktio 2 %) käsittelyllä ei ollut merkittävää vaikutusta.

3.3. Tarvaalan maastokokeet

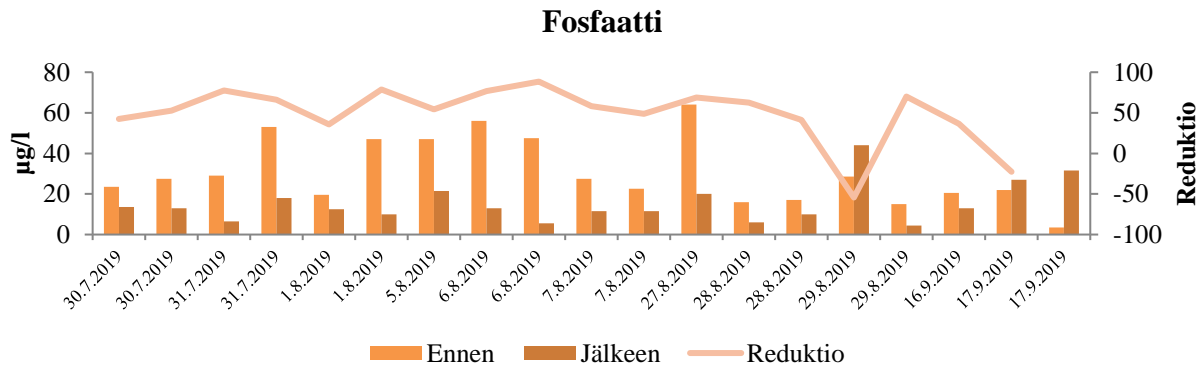
Tarvaalan Biotalouskampuksella toteutettiin kesän 2019 aikana pidempiä koeajoja ja maastokokeissa testattiin biopolymeerin annostusta kolmella eri pitoisuudella, 4 ml/l, 6 ml/l ja 8 ml/l. Tulokset on esitetty liitteessä 3. Paras puhdistustulos maastokokeissa saatiin suurimmalla biopolymeerin annoksella (8 ml/l), jolloin sameuden reduktio oli keskimäärin 43 % (Kuva 12), kokonaisfosforin reduktio 75 % (Kuva 13) ja fosfaattifosforin reduktio 50 % (Kuva 14). Kiintoaineen määrä käsittelyn aikana kasvoi keskimäärin noin 400 %, joka johtunee täyttyneestä laskeutusaltaasta tai hitaasti laskeutuvan flokin korkeasta määrästä. Myös kokonaistypen määrä kasvoi keskimäärin 275 %.



Kuva 12. Sameus ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan koeajosta 8 ml/l annostuksella 2019.



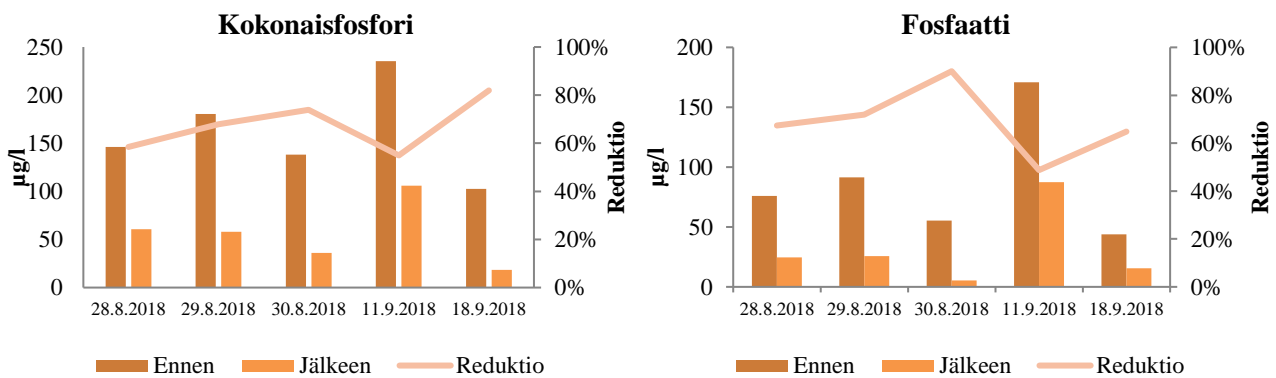
Kuva 13. Kokonaisfosforipitoisuus ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan koeajosta 8 ml/l annostuksella 2019.



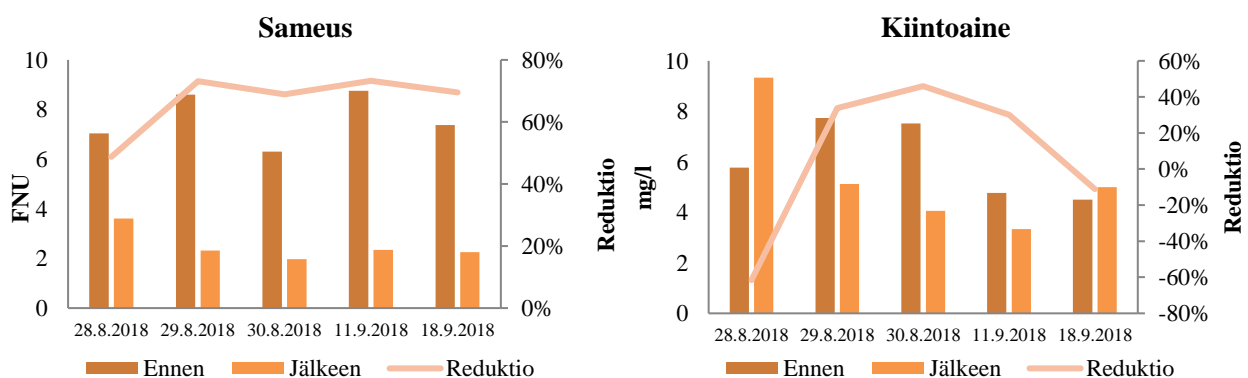
Kuva 14. Fosfaatin pitoisuus ennen biopolymeerikäsittelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan koeajosta 8 ml/l annostuksella 2019.

4 ml/l annostus (kesäkuun 2019 tulokset) oli käsitellylle vedelle liian alhainen, ja kaikkien tutkittujen vedenlaatuparametrien pitoisuudet nousivat käsittelyn aikana huomattavasti (Liite 3). Biopolymeerin annos 6ml/l (toukokuun 2019 tulokset) oli myös liian alhainen. Orgaanisen kokonaishiilen reduktio tällä annoksella oli keskimäärin 7 %, liukoisen orgaanisen hiilen reduktio 26 %, nitraattitypen reduktio 31 % ja kokonaisfosforin reduktio 47 % (Liite 3). Liukoisen fosfaatin määrä kuitenkin kasvoi 49 %, samoin sameuden, kiintoaineen ja kokonaistypen määrät kasvoivat huomattavasti (Liite 3).

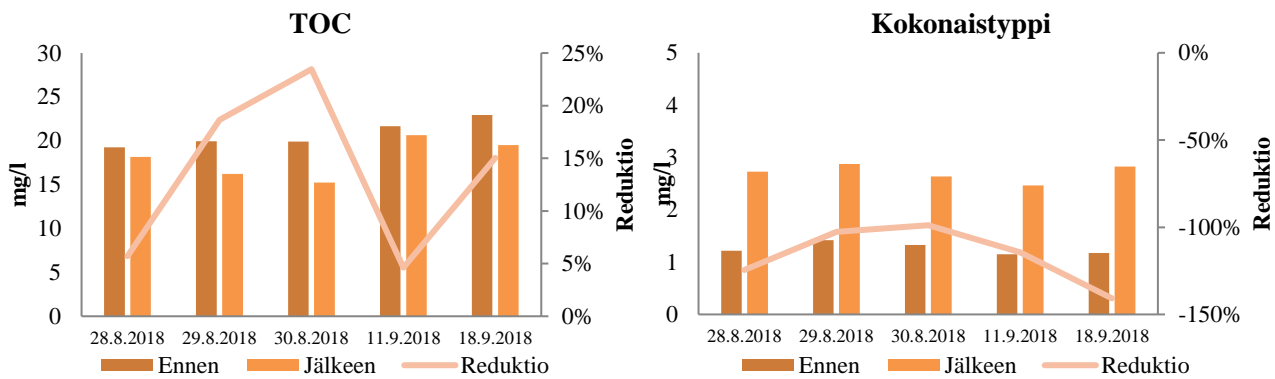
Tarvaalan kosteikolla vuonna 2018 suoritetuissa maastokokeissa saatiin parhaimmillaan 82 % kokonaisfosforista saostettua biopolymeerillä vaihtelun ollessa kuitenkin suurta (55-82 %) (Kuva 15). Fosfaatin määrä väheni käsittelyssä parhaimmillaan 90 % (vaihteluväli 49-90 %) (Kuva 15) ja sameus laski parhaimmillaan 73 % (vaihteluväli 49-73 %) (Kuva 16). Kiintoainepitoisuus väheni parhaimmillaan 46 % (Kuva 16) ja orgaaninen kokonaishiili 23 % (Kuva 17) mutta vaihtelu oli myös näillä vedenlaatuparametreilla suurta. Kokonaistypen määrä käsiteltävässä vedessä kasvaa (Kuva 1), mikä havaittiin myös aiemmin suoritetuissa laboratoriokokeissa, sekä Ruukin maastokokeissa. Ruukkiin verrattuna tulokset olivat Tarvaalassa vuonna 2018 (Liite 3) selvästi parempia erityisesti sameuden ja kiintoainepitoisuuden vähenemisen osalta. Kaikissa tutkituissa vedenlaatuparametreissa oli koejakson aikana suurta vaihtelua. Vuoden 2018 koeajoista saatiin vain muutamia vesinäytteitä, joten menetelmän toimivuuden arviointi näin pienen otannan perusteella on haastavaa.



Kuva 15. Kokonaisfosforin ja fosfaatin pitoisuus ennen biopolymeerikäsitelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan kosteikon koeajoista 2018.



Kuva 16. Veden sameus ja kiintoainepitoisuus ennen biopolymeerikäsitelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan kosteikon koeajoista 2018.

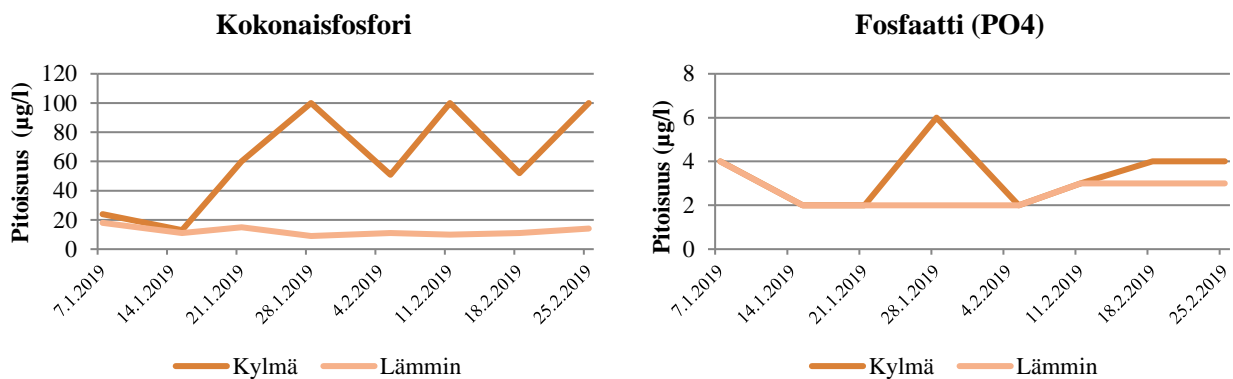


Kuva 17. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) ja kokonaistyyppien pitoisuus ennen biopolymeerikäsitelyä ja sen jälkeen sekä reduktio (%) Tarvaalan kosteikon koeajoista 2018.

3.4. Liukenemiskokeet

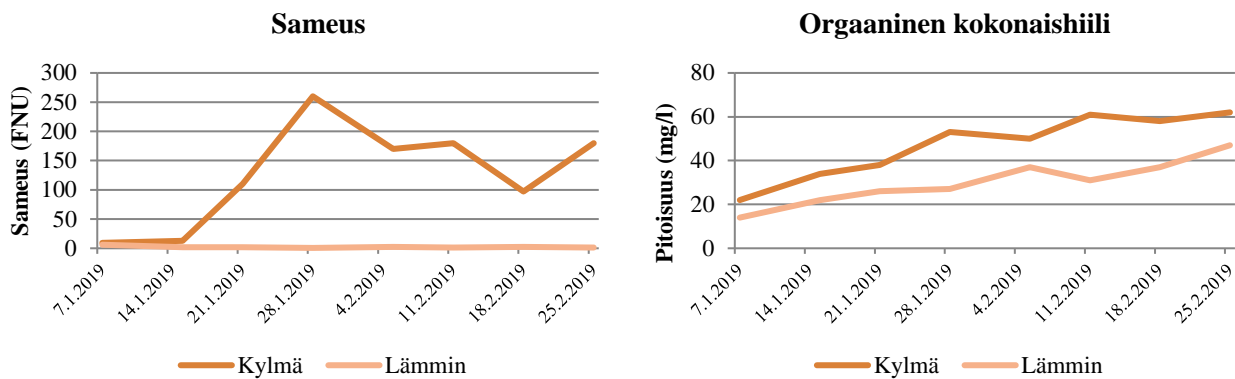
Ravinteiden liukenemista biopolymeerilietteestä takaisin veteen seurattiin astiamittakaavan kokeilla. Astioihin lisättiin kraanavettä ja 2 dl biopolymeerilietettä. Ravinteiden liukenemista seurattiin sekä kylmissä (n. 4 °C) että lämpimissä olosuhteissa (n. 21 °C). Lisätyn kraanaveden ravinteiden pitoisuutta ei mitattu. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin 3 päivää kokeen aloittamisen jälkeen ja sen jälkeen viikon välein.

Ensimmäisen mittauksen aikaan 7.1. veden kokonaisfosforin pitoisuudet olivat kylmässä vedessä 24 µg/l ja lämpimässä vedessä 18 µg/l ja ne laskivat jopa hieman viikon kuluttua (Kuva 18). Kahden viikon jälkeen kylmän veden fosforipitoisuus kasvoi merkittävästi ensin 60 µg/l ja sen jälkeen vaihteli koko mittausjakson ajan 50 – 100 µg/l välillä. Lämpimässä vedessä vastaavaa liukenemistä ei tapahtunut ja veden kokonaisfosforipitoisuus pysyi jatkuvasti alle 20 µg/l. Fosfaattia (PO₄) ei liennut merkittävästi veteen kylmissä tai lämpimissä olosuhteissa (Kuva 18).



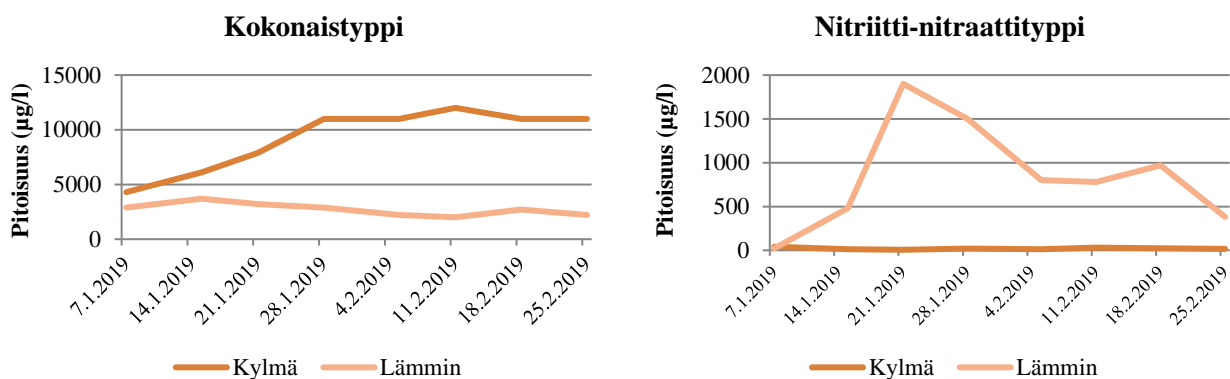
Kuva 18. Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin (PO₄) pitoisuus kylmässä ja lämpimässä vedessä liukenemiskokeiden aikana (7.1.-25.2.2019)

Veden sameudessa ei tapahtunut muutoksia lämpimässä vedessä. Sen sijaan kylmässä vedessä veden sameus kasvoi kahdessa viikossa kokeen aloituksesta 110 FNU:hun ja viikkoa myöhemmin 260 FNU:hun (Kuva 19). Tämän jälkeen sameus hieman laski, mutta pysyi 100 – 200 FNU:n välillä kokeen loppuun asti. Veden orgaanisen kokonaishiilen määrä kasvoi tasaisesti koko kokeen keston ajan molemmissa lämpötiloissa, mutta kehityksessä oli selvä tasoero niin, että kylmässä vedessä orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet olivat korkeammat koko kokeen keston ajan (Kuva 19).



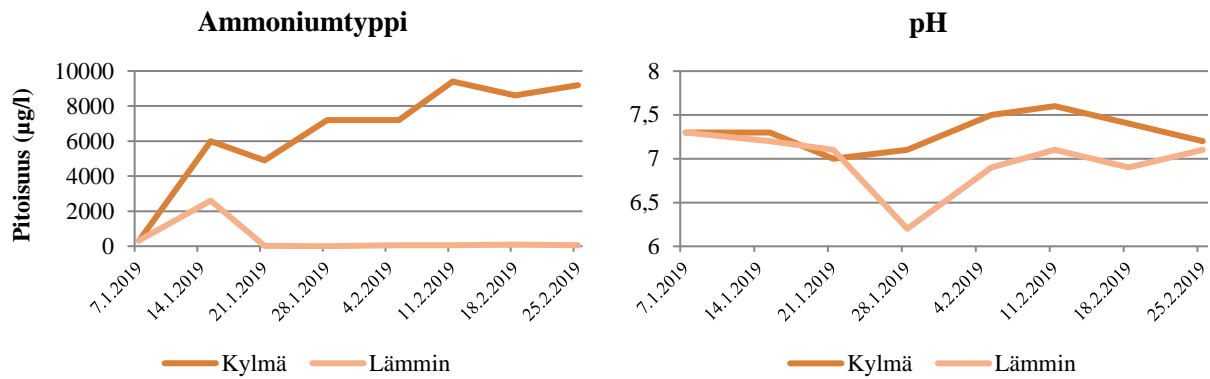
Kuva 19. Veden sameus ja orgaanisen kokonaishiilen (TOC) pitoisuus kylmässä ja lämpimässä vedessä liukenemiskokeiden aikana (7.1.-25.2.2019)

Veden kokonaistypen pitoisuus kasvoi kylmässä vedessä tasaisesti kolme ensimmäistä viikkoa noin 11 000 µg/l tasolle, jonka jälkeen pitoisuus vakiintui samalle tasolle kokeen loppuajaksi (Kuva 20). Lämpimässä vedessä kokonaistypen pitoisuus pysyi samalla tasolla (n. 2000 – 4000 µg/l) tai laski hieman kokeen loppua kohden. Verrattuna muihin ravinteisiin nitriitti-nitraatti-typen kokonaistypen pitoisuus oli korkeampi lämpimässä vedessä kuin kylmässä (Kuva 20). Pitoisuus kasvoi voimakkaasti kahden ensimmäisen viikon aikana ja saavutti huipun (1900 µg/l) 21.1. tehdyissä mittauksissa. Tämän jälkeen nitriitti-nitraatin pitoisuudet laskivat kokeen loppua kohden (Kuva 20). Kylmässä vedessä nitriitti-nitraatin pitoisuudet olivat hyvin pieniä, eivätkä muuttuneet kokeen aikana. Veden ammonium-typen (NH₄) pitoisuudet kasvoivat kylmässä vedessä koko kokeen keston ajan (Kuva 21). Erityisen nopeaa pitoisuuden kasvu oli ensimmäisen viikon aikana, jolloin pitoisuus nousi noin 6000 µg/l ja kasvoi kokeen loppuun mennessä reiluun 9000 µg/l. Lämpimässä vedessä ammonium-tyyppiä ei muodostunut kokeen ensimmäisenä viikkona havaittua pientä piikkiä lukuun ottamatta.



Kuva 20. Veden kokonaistypen ja nitriitti (NO₂)- ja nitraatti (NO₃)-tyypin pitoisuus kylmässä ja lämpimässä vedessä liukenemiskokeiden aikana (7.1.-25.2.2019).

Veden pH pysyi koko kokeen ajan sekä kylmässä, että lämpimässä käsittelyssä 6 ja 7.6 välillä. Kylmässä vedessä pH oli kuitenkin jonkin verran korkeampi kuin lämpimässä vedessä (Kuva 21).



Kuva 21. Veden ammonium (NH₄)-tyypin pitoisuus ja pH kylmässä ja lämpimässä vedessä liukenemiskokeiden aikana (7.1.-25.2.2019).

Biopolymeerilietteestä liukeni hyvin erilainen määrä ravinteita riippuen veden lämpötilasta. Yleisesti kylmässä vedessä ravinnepitoisuudet olivat merkittävästi korkeampia kuin lämpimässä vedessä. Merkittävän poikkeuksen tästä teki nitriitti- ja nitraattityypin kokonaispitoisuus, jonka pitoisuus kasvoi vain lämpimässä vedessä. Nitriittiä ja nitraattia syntyy hapellisissa olosuhteissa ammoniumtyypistä nitrifikaatioprosessissa, jossa *Nitrosomonas*-bakteerit muuntavat ammonium-typen nitriitiksi. *Nitrobacter*-bakteerit hapettavat nitriitin edelleen lopulta nitraatiksi. Prosessi hidastuu tai estyy veden lämpötilan laskiessa alle 5 °C, mikä selittää sen, etteivät nitriitin ja nitraatin pitoisuudet kasvaaneet kylmässä vedessä. Kokeen alussa nitriitti- ja nitraattityypin pitoisuus kasvoi lämpimässä vedessä jyrkästi, jonka jälkeen pitoisuus lähti laskuun. Lasku johtunee hapen loppumisesta vedessä, mikä pysäyttää prosessin ja saa typen pelkistymään typpikaasuksi (N₂).

Ennako-oletuksena oli, että ravinteiden liukenemista tapahtuisi enemmän lämpimässä vedessä, sillä lämpötilan kasvu yleensä tehostaa liukenemistä ja nopeuttaa kemiallisia reaktioita ja biologista hapen kulutusta. Tilanne osoittautui kuitenkin päinvastaiseksi. Veden kokonaisfosforin pitoisuus kasvoi merkittävästi vain kylmässä vedessä ja vesi sameni kylmissä olosuhteissa voimakkaasti. Liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudessa ei tapahtunut muutoksia kylmässä tai lämpimässä vedessä, mikä viittaa siihen, että valtaosa kylmän veden fosforista oli sameutta aiheuttaneisiin partikkeleihin sitoutuneena. Tarkkaa syytä kokonaisfosforin pitoisuuden muutoksille ja sen taustalla oleville reaktioille ei ole pystytty hankkeen aikana selvittämään. Orgaanisen kokonaishiilen pitoisuus kasvoi kokeen ajan myös lämpimässä vedessä, joten orgaanista ainesta liukeni veteen myös lämpimissä olosuhteissa, mutta se ei aiheuttanut muutosta veden sameudessa.

Mikäli ravinteiden liukeneminen noudattelee luonnonolosuhteissa laboratorikokeissa havaittuja tuloksia, on ravinteiden liukeneminen biopolymeeriflokeista takaisin veteen voimakkaampaa kylmän veden aikaan, eli keväällä ja syksyllä, jolloin tarve valuntavesien käsittelyyn on suurimmillaan. Maastokokeiden aikana ei kuitenkaan havaittu viitteitä veden samenemisesta ja ravinteiden takaisin liukenemisestä, joten laboratoriomittakaavan kokeiden tulokset eivät välttämättä ole suoraan johdettavissa luonnonolosuhteisiin.

3.5. Ruukkukasvatuskokeet

Ruukkukokeessa (Kuva 22) vuonna 2018 käytettyjen kuivattujen biopolymeerilietteiden johtokyky oli 194 mS/m (Tarvaala) ja 461 mS/m (Ruukki). Kiinankaalin ja krassin itävyys oli yli 90 %, mutta rairuohon itävyys jäi alle 90 % eli tulokset eivät olleet luotettavia.



Kuva 22. Kiinankaaliruukut ruukkukokeen jälkeen 2018. Kiinankaalin kontrolliruukut (3 kpl) ja turve + Tarvaalan liete ruukut (3 kpl) (Leppämäki 2019).

Kasvitestin tuloksena laskettiin kasvuindeksi kolmen rinnakkaisnäytteen kuivapainojen keskiarvon mukaan. Kasvuindeksiprosentti = kasvu näyteseoksessa (g)/kasvu taustakontrollissa (g)*100 %. Jos kasvuindeksiprosentti on alle 80 %, kasvua voidaan pitää alentuneena. Tulosten mukaan kasvuindeksi vaihteli välillä 81 % – 85 % (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kiinankaalin ja krassin kasvuindeksi (%) Tarvaalan ja Ruukin lietteillä (Leppämäki 2019).

	Tarvaalan liete	Ruukin liete
Kiinankaali	85 %	81 %
Krassi	84 %	84 %

Vuoden 2018 ruukkukokeiden tuloksista laadittiin JAMK:ssa myös Aleksin Leppämäen (2019) opinnäytetyö: *Biopolymeerien käyttö vesienpuhdistuksessa ja ravinteiden kierrätyksessä*, joka on saatavilla osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052913236>. Opinnäytetyön tekijälle ei maksettu palkkaa vaan toteutettu työ on yksi lisätuotos projektille.

Ruukkukokeisiin kerättiin biopolymeerilietettä hankkeen molemmilta maastokoekohteilta Tarvaalasta ja Ruukista. Lietteistä teetettyjen ravinneanalyysien perusteella (Liite 4) lietteet sisälsivät ravinteita melko niukasti – vain pieni osa typestä on kasveille käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa ja fosforista vain noin 1 % on kasveille käyttökelpoista (Taulukko 6). Ruukista ja Tarvaalasta kerättyjen biopolymeerilietteiden metallipitoisuudet alittavat maatalouden lannoitteille asetettujen haitta-aineiden raja-arvot (Taulukko 6).

Vuoden 2019 ruukkukokeiden tulosten mukaan kiinankaali hyötyi biopolymeerilietekastelusta – kiinankaalit kasvoivat Tarvaalan koekohteelta kerätyllä lietteellä 19 % ja Ruukin lietteellä 23 % paremmin kuin kontrolliryhmässä (Kuva 22 ja Kuva 23). Myös seoksessa, jossa oli 10 % Ruukin kuivattua lietettä, kiinankaalit kasvoivat 4 % paremmin kuin kontrolleissa. Muissa seoksissa kiinankaalin kasvu jäi heikommaksi. Seoksissa, joissa oli 30 % ja 50 % kuivattua lietettä, kiinankaalin kasvu heikentyi jopa yli 50 % kontrolleihin verrattuna (Kuva 23).

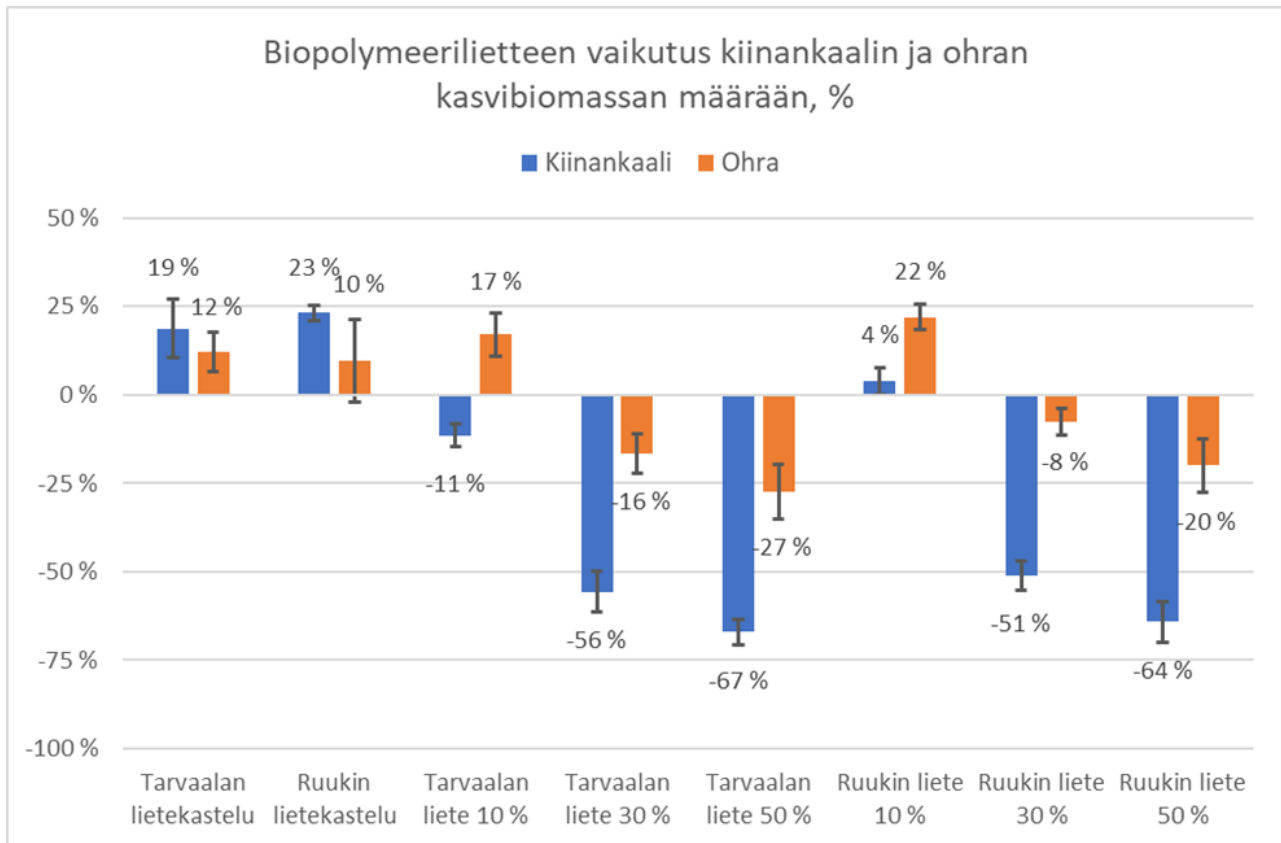
Taulukko 6. Biopolymeerilietteiden sisältämät ravinteet laboratorioanalyysin mukaan.

Määre	Yksikkö	Lieteanalyysin tulos				Raja-arvot lannoitteille	
		Tarvaala 2018	Ruukki 2018	Tarvaala 2019	Ruukki 2019	Maatalous	Metsätalouden tuh- kalannoitteet
Kokonaisfosfori	mg/kg ka	1900	830	1700	2300		
Vesiliukoinen fosfori	mg/kg ka	15	15	9,7	14		
Kokonaistyyppi	mg/kg ka	59900	22600	49000	31000		
Vesiliukoinen tyyppi	mg/kg ka	900	<300	<8700	1410		
Kalium (K)	mg/kg ka	1200	1810	1200	2800		
Magnesium (Mg)	mg/kg ka	1400	2730	1600	3400		
Arseeni (As)	mg/kg ka	5,5	5,2	4,4	6,4	25	40
Kadmium (Cd)	mg/kg ka	0,11	0,3	0,25	0,32	1,5	25
Kromi (Cr)	mg/kg ka	14	78	16	30	300	300
Kupari (Cu)	mg/kg ka	18	120	16	80	600	700
Elohopea (Hg)	mg/kg ka	0,13	0,067	<0,02	0,2	1	1
Nikkeli (Ni)	mg/kg ka	7,4	51	7,6	32	100	150
Lyijy (Pb)	mg/kg ka	5,1	3,4	9,5	<2,176	100	150
Sinkki (Zn)	mg/kg ka	62	52	96	57	1500	4500
Mangaani (Mn)	mg/kg ka	220	220	290	220		
Natrium (Na)	mg/kg ka	450	1040	4000	940		
Rikki (S)	mg/kg ka	4400	6450	4200	6100		
Rauta (Fe)	mg/kg ka	23000	14300	24800	49000		

Myös ohra hyötyi lietekastelusta. Tarvaalan lietteellä kastellut ohrat kasvoivat 12 % ja Ruukin lietteellä 10 % paremmin kuin kontrolleissa. Ohra hyötyi kiinankaalia enemmän kuivatuista lietteistä – seoksissa, jossa oli 10 % pitoisuus lietettä ohra saavutti noin 20 % suuremman kasvun kuin kontrolleissa (Kuva 23). Korkeampi 30 % ja 50 % pitoisuus kuivattua lietettä ei vaikuttanut ohran kasvuun yhtä negatiivisesti kuin kiinankaalilla (Kuva 23).



Kuva 22. Ruukkujen 2A – C kasteluun käytettiin Ruukin koekohteelta 2019 kerättyä biopolymeerilietettä. Kiinankaalit kasvoivat lietekastelulla 23 prosenttia paremmin kuin kontrollissa (OB -ruukku).



Kuva 23. Tarvaalan ja Ruukin biopolymeerilietekastelun ja lieteseosten (10 %, 30 % ja 50 %) vaikutus kiinankaalin ja ohran biomassan määrään 2019 ruukkukasvatuskokeissa.

Kiinankaalin kasvun heikentyminen 30 % ja 50 % pitoisuuksilla kuivattua lietettä johtui todennäköisesti kuivattujen lietteiden korkeasta johtokyvystä. Näiden seoksien johtokyky oli yli 60 mS/m. Rajoitettujen kasvualustojen johtokyvyn ei suositella olevan yli 50 mS/m. Liian korkea johtokyky heikentää kasvien juurten vedenottoa. Johtokyky kuvaa maan vesiliukoisten suolojen pitoisuutta. Kiinankaalia käytetään yleisesti koekasvina, koska se reagoi herkästi epäsuotuisiin kasvuolosuhteisiin.

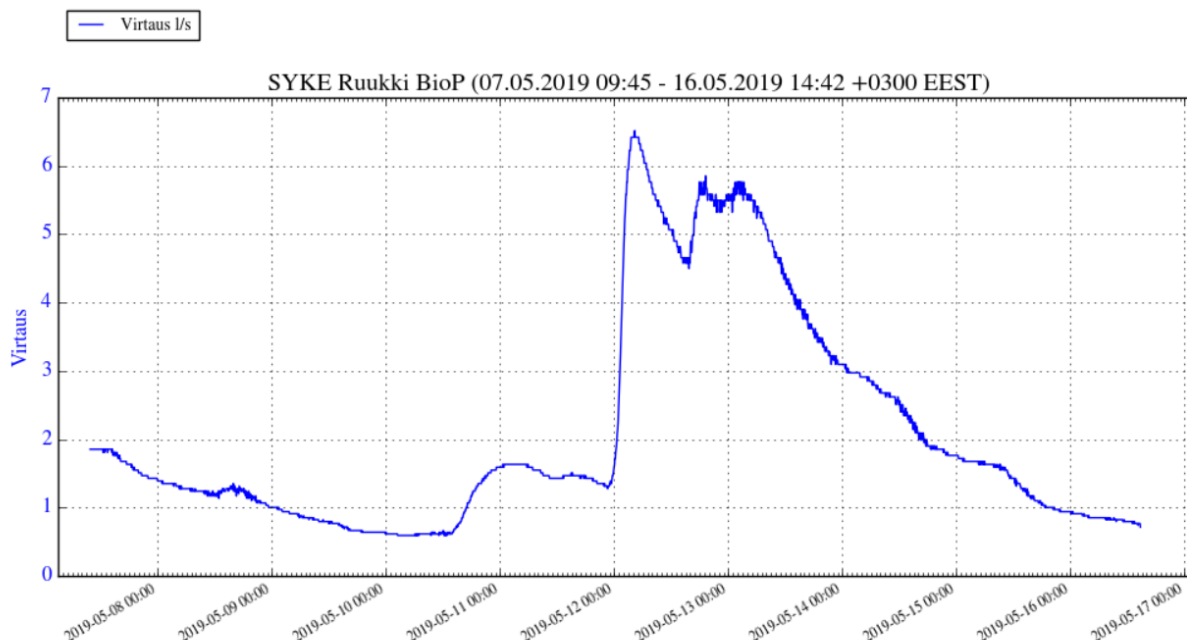
Kasteluun käytetyt lietteet sisälsivät melko niukasti kasveille käyttökelpoisessa, liukoisessa muodossa olevaa typpeä ja fosforia. Lietteitä täytyi laimentaa vedellä, jotta liete imeytyi kasvualustaan. Laimennuksen jälkeen Tarvaalan liete sisälsi liukoista typpeä noin 77 mg/l ja liukoista fosforia 0,1 mg/l. Laimennettu Ruukin liete sisälsi liukoista typpeä 19 mg/l ja liukoista fosforia 0,2 mg/l. Ravinnesisällöltään biopolymeerilietteet jäivät reilusti alhaisemmaksi kuin tyypillinen kastelulannoite, jossa on liukoista typpeä usein vähintään 150 mg/l ja fosforia 20 mg/l. Typpi on merkittävin kasvi-biomassaa lisäävä kasvinravinne, jonka vuoksi on yllättävää, että Ruukin lietekasteluilla kasvunlisäys oli kokeessa jopa suurempi kuin Tarvaalan lietteellä vaikka Ruukissa typpipitoisuus oli huomattavasti alhaisempi. Kasvunlisäys on saattanut johtua myös jostain muusta kuin ravinteista. Tulosten perusteella lietteellä on pieninä määrinä käytettynä kiinankaalin ja ohran kasvua lisäävä vaikutus.

3.6. Taloudellisuustarkastelu

Biopolymeerisaostus todettiin hankkeen laboratoriokokeiden perusteella tehokkaaksi menetelmäksi maatalouden valumavesien fosforin poistamiseen. Biopolymeerien laajemman käytännön sovellettavuuden vuoksi on kuitenkin välttämätöntä tarkastella menetelmän kustannuksia ja taloudellisuutta sekä tässä hankkeessa saavutettujen tulosten pohjalta että muiden sovellusmahdollisuuksien perusteella.

3.6.1. Ruukin 2019 maastokokeiden taloudellisuus

Ruukin koekohteella toteutettiin 2019 keväällä 10 vuorokauden mittainen koejakso, jonka aikana maatilankokoomaajaan kertynyttä vettä käsiteltiin pumppaamalla vesienkäsittelylaitteistoon biopolymeeriä 1/2000 suhteessa virtaamaan. Koejakson aikana käsiteltiin yhteensä 1872 m³ valumavettä. Virtaaman vaihteluväli oli 0,6 – 6,5 l/s ja keskimääräinen virtaama oli 2,1 l/s (Kuva 24). Jatkuva-toimisella virtaamamittauksella mitattiin käsiteltävän tulevan veden virtaama 5 minuutin välein.



Kuva 24. Ruukin koekohteen virtaamatiedot toukokuussa 2019 toteutetun koejakson aikana.

Tulevan veden keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus koejakson aikana oli 106 µg/l ja lähtevän veden 29 µg/l. Biopolymeerikäsitelyllä poistettiin keskimäärin 73 % kokonaisfosforista. Koejakson aikana käsittelyyn tullut vesi sisälsi 198 g fosforia, ja siitä 144 g poistettiin biopolymeerisaostuksella (Taulukko 7). Koejakson aikana biopolymeeriä kului 936 litraa, jonka hinnaksi tuli 734 e. Biopolymeerillä saostetun fosforikilon hinnaksi saatiin tämän koejakson perusteella 5070 euroa.

Taulukko 7. Fosforin saostamisen tulokset ja kustannukset Ruukissa kevään koejakson aikana (6.-16.5.2019).

10 vrk aikana	
Tulevan veden fosforikuorma, g	198
Lähtevän veden fosforikuorma, g	54
Poistetun fosforin määrä, g	144
Reduktio %	73
Käsitelty vesimäärä, m ³	1872
Biopolymeerin kulutus, l	936
Biopolymeerin hinta, €/l	0,78
Biopolymeerin hinta, €	730
Poistetun fosforikilon hinta, €/ kg P	5070

Taloudellisuustarkastelun perusteella fosforin poistaminen maatalouden valumavedestä Ruukin koekohteella ei ollut taloudellisesti kannattavaa. Käsittelemään tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli suhteellisen alhainen, virtaama matala ja käsitelyjakso lyhyt, jolloin vedestä poistettu fosforin kokonaismääräkin jäi pieneksi.

Tässä taloudellisuustarkastelussa on huomioitu ainoastaan kemikaalikulut, joten todellinen hinta poistetulle fosforikilolle huomioiden mm. järjestelmän rakentamis-, ylläpito-, huolto- ja näytteenotto-kulut, on korkeampi. Tässä hankkeessa Ruukin koekohteelle rakennetun vesienkäsittelyratkaisun rakentamiskustannukset olivat 10 300 euroa (pumppausjärjestelmän rakennus ja asennus 8000 €, sekoitusjärjestelmän rakennus 1700 € ja kaivinkonetyöt 600 €). Lisäksi ravinteiden kierrätyksen kannalta kokonaistarkastelussa tulee huomioida myös lietteen käsittelyn ja levittämisen kulut, joita tämän hankkeen puitteissa ei ole arvioitu.

3.6.2. Biopolymeerisaostuksen mahdollisuudet

Biopolymeerisaostuksen käytännön sovellettavuuden suurin haaste vesienkäsittelyssä ja fosforin poistossa on kemikaalin kallis hinta. Menetelmän konkreettisin hyöty vesiensuojelun kannalta olisi käsitellä pistemäisiä korkean kuormituksen lähteitä, joissa veden fosforipitoisuus olisi korkea. Kustannuksia voidaan pyrkiä hillitsemään myös käsittelemällä vain korkean virtaaman tilanteita jatkuvatoimisen käsittelyn sijasta. Tarkasteltaessa teoreettisesti biopolymeerin kulutusta ja kustannuksia, ojassa, jossa on matala virtaama (keskimäärin 2 l/s) jatkuvatoiminen käsittely (avovesikausi, 120 vrk) maksaisi 8087 euroa vuodessa kun lyhytaikaisella käsittelyllä keväällä ja syksyllä (8 viikkoa, 56 vrk) käsittely maksaisi vuoden aikana vain 3774 euroa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Biopolymeerikäsittelyn kustannukset jatkuvatoimisesti ja lyhytaikaisesti toteutetun vesienkäsittelyn aikana. Biopolymeeriä annostellaan suhteessa 1/2000 virtaamaan ja biopolymeerin hinta on 0,78 €/l.

		Jatkuvatoimisesti	Lyhytaikaisesti
Virtaama	l/s	2	2
Biopolymeerin kulutus	l	10368	4838,4
Biopolymeerin hinta	€/v	8087	3774
Käsittelyn kesto	d	120	56

Kustannustehokkuutta voidaan tarkastella myös poistetun fosforin kilohinnan perusteella. Tämän tarkastelun perusteella vain erittäin korkeiden fosforipitoisuuksien käsittelyllä biopolymeerisaostuksen voi saada kustannustehokkaaksi. Kun käsitellään valumavettä ojasta, jossa on matala virtaama (2 l/s) ja alhainen fosforipitoisuus (120 µg/l), biopolymeerisaostuksella vedestä poistetun fosforin kilohinnaksi saadaan 4643 €/ kg P (Taulukko 9). Mikäli vastaavassa ojassa veden fosforipitoisuus olisi korkeampi, 1000 µg/l, poistetun fosforin kilohinnaksi tulisi vain 557 €/ kg P. Tässä tarkastelussa oletetaan, että fosforin reduktio on 70 % ja että virtaamaan nähden 1/2000-suhteella annostellun 10 % tanniiniliuoksen tehokkuus riittää saostamaan myös korkeita fosforipitoisuuksia.

Taulukko 9. Poistetun fosforin kilohinta käsiteltävän veden eri pitoisuuksilla. Biopolymeeriä annostellaan suhteessa 1/2000 virtaamaan nähden ja biopolymeerin hinta on 0,78 €/l.

		Matala P pitoisuus	Korkea P pitoisuus
Virtaama	l/s	2	2
Kokonaisfosforipitoisuus	µg/l	120	1000
Reduktio	%	0,7	0,7
Poistetun P kilohinta	€/kg P	4643	557

3.6.3. Kustannusten vertailu perinteiseen ferrisulfaattisaostukseen

Viime vuosina Suomessa ja lähialueilla on toteutettu useita hankkeita, joissa on tutkittu fosforin poiston mahdollisuuksia virtavesistä ferrisulfaattisaostuksella. Ferrisulfaattisaostuksella vesistöistä poistetun fosforin kilohinnaksi on eri tutkimusprojekteissa saatu 16 – 461 €/ kg P (Taulukko 10).

Taulukko 10. Virtavesissä toteutettujen ferrisulfaattisaostuskokeiden kooste.

Liukoisin fosforin reduktio %	Tulevan veden liukoisin fosforin pitoisuus µg/l	Virtaama l/s	Kustannustehokkuus e/kg P (liuk.) (pelkät kemikaalikulut)	Kohdekuvaus	lähde
40–60 %	27 – 160	0,1 – 550	112 – 337	peltomaan valumaoja	Nautela (Kaseva 2013)
44 %	21 – 1370		183	10 erilaisen ojan yhteistarkastelu	Nuutajärvi 2012 (Närvänen ja Uusitalo 2014)
77 %	21 – 1348	0,5 – 181	110	11 erilaisen ojan yhteistarkastelu	Nuutajärvi 2013 (Närvänen ja Uusitalo 2014)
37 %	40	250	120	navetan vierellä kulkeva oja	Nuutajärvi (Uusitalo et al. 2013)
75 %	786	0,6	159	navetan vierellä kulkeva oja	Nuutajärvi (Uusitalo et al. 2013)
30 – 95 %	12 – 24	15 – 100	231 – 461	3 valumaojaa peltoalueelta	Nuutajärvi (Uusitalo et al. 2013)
49 %	80 – 170	4 – 35	38 – 145	Laskeutusaltaan purkuoja, sianlannan levitysalue ja sikalan laidunoja. Kemikalointi vain korkeilla virtaamilla sateiden jälkeen	Paimionjoki (Uusitalo et al. 2013)
53 %	1900	0,3	16	Navetan ja kotitalouden käsittelemättömät jätevedet	Tammela (Uusitalo et al. 2013)
64 %	70 – 450	4 – 127	123	peltomaan valumaoja	Rahinge, Viro (Uusitalo et al. 2013)
65 – 87 %	29 – 170	800 – 4200	60 – 190	jokivesi	Paattistenjoki (Kaseva et al. 2017)
38 %	69 – 239	–	–	Turvetuotantoalue	Navettarimpi (Karppinen & Postila 2015)
83 %	170 – 1700	–	–	Turvetuotantoalue	Tunturisuo (Karppinen & Postila 2015)

Suuri vaihteluväli näissä kuluissa johtuu monista eri tekijöistä, joista merkittävimmät ovat virtaaman vaihtelut sekä käsiteltävän veden fosforipitoisuus. Erilaisten koejärjestelyjen rakentamiskulut vaihtelevat rajusti, joten tässä tarkastellaan pelkkien kemikaalikustannusten vaikutusta hintaan.

MTT toteutti vuosina 2012 ja 2013 Nuutajärven valuma-alueella Ferix-3 saostuskokeita kevätva-lunnan aikana ojissa, joiden valuma-alueet, virtaamat ja veden fosforipitoisuudet vaihtelivat laajasti. Kuormituslähteinä valuma-alueilla oli navettoja, jaloittelutarhoja ja hevostarhoja sekä pelto- ja met-säalueita. (Närvänen ja Uusitalo 2014) Nuutajärven testeissä havaittiin, että käsiteltävässä vettä, jossa on matala liukoisen fosforin pitoisuus (120 – 240 µg/l) poistetun fosforin kilohinta nousee huomattavasti. (Uusitalo et al 2013)

Nautelan pilotissa käsiteltiin pienen peltomaalla sijaitsevan valumaojan vettä ferrisulfaatilla ja liu-koisesta fosfaatista saatiin poistettua 50 – 80 %. Kokonaisfosforin määrä tässä koejärjestelyssä ei juuri muuttunut sen reduktion ollessa keskimäärin 3,7 %. Vuonna 2011 saostetun liukoisen fosforin kilohinnaksi tässä koejärjestelyssä tuli 216 € ja vuonna 2012 hinnaksi jäi 74 € huomioiden pelkät kemikaalikulut (ilman ALV ja rahti). (Kaseva 2013)

Paimionjoen valuma-alueella fosforisaostusta tutkittiin kolmessa erilaisessa ojassa; yksi metsä- ja peltomaalla, toinen sikatilan ja sianlannan levitysalueiden vaikutuksen alainen ja kolmas sikatilan ja laidunten keskellä. Keskimäärin liukoisen fosforin reduktio oli 49 % ja poistetun fosforin kilohinnaksi tuli 38 – 145 euroa kilolta riippuen kohteesta. Paimionjoella käsiteltiin vain sateen jälkeisiä virtaa-mahuippuja. (Uusitalo et al. 2013)

Tammelassa ferrisulfaattisaostuksella käsiteltiin vuosina 2010 – 2012 vain 1400 m³ vettä. Valuma-veteen pääsi vuotamaan sekä navetan että kotitalouden käsittelemätöntä jätevettä, minkä vuoksi liukoisen fosforin pitoisuudet olivat jopa 1900 µg/l. Puhdistusteho tässä kohteessa oli kuitenkin vain 53 % ja poistetun fosforin kilohinnaksi tuli 16 euroa. (Uusitalo et al. 2013)

Rahingessa Virossa fosforia saatiin poistettua 64 % ja poistetun fosforin kilohinnaksi tuli 123 euroa. (Uusitalo et al. 2013)

Paattistenjoella fosforia saostettiin suoraan jokivedestä nestemäisellä rautasulfaatilla. Liukoisen fosforin pitoisuus jokivedessä oli ennen käsittelyä 29 – 170 µg/l ja reduktio oli 65 – 87 %. Saoste-tun fosforin kilohinnaksi tuli 60 – 190 euroa. (Kaseva et al. 2017)

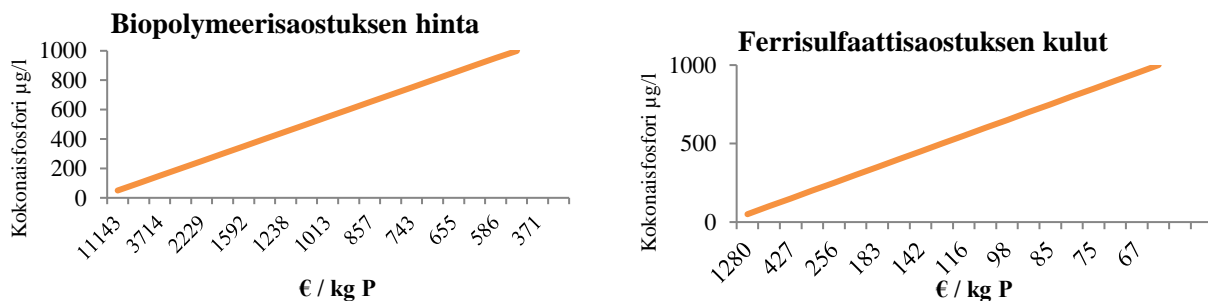
SulKa-hankkeessa tutkittiin turvetuotantoalueen valumavesien kemiallista käsittelyä rautasulfaatil-la. Navettarimmen koekohteella kokonaisfosforin pitoisuudet olivat 69 – 230 µg/l ja keskimääräinen reduktio oli 38 %. Tunturisuon koekohteella kokonaisfosforin pitoisuus oli 170 – 1700 µg/l ja keski-määräinen reduktio oli 83 %. (Karppinen & Postila 2015)

Ferrisulfaattisaostuksena toteutettavan fosforin poiston kustannustehokkuus ja puhdistusteho vaih-telee suuresti. Suurimmassa osa taulukossa 10 listatuista tutkimuksista on käytetty MTT:n tutkijan Arto Närväsen kehittämään annostelusukkaa, jolla kiinteää kemikaalia annostellaan käsiteltävään veteen passiivisesti (Närvänen & Uusitalo 2014). Menetelmän käytössä on kuitenkin paljon haas-teita, joista suurimpana on toiminnan epävarmuus. Äkillisten, esimerkiksi rankkasateista johtuvien, virtaamapiikkien aikana kemikaalin annostelulaitteisto voi kastua kokonaan, joka johtaa kemikaalin yliannostukseen. Ferrisulfaatti aiheuttaa veteen liuetessaan pH:n laskua, jolloin yliannostelun seu-rauksena hetkelliset merkittävät pH laskut voivat aiheuttaa vakavia haittoja eliöstölle luonnonvesis-sä. Mikäli käsiteltävän veden pH on lähtökohtaisesti jo alhainen, kemikaloinnin aiheuttamalla pH:n laskulla voi olla merkittäviä vaikutuksia vesistölle. Myös ferrisulfaatin vesiliuosta on käytetty saos-

tuskemikaalina (Kaseva *et al.* 2017) virtaamaohjatulla annostelulaitteistolla varustettuna. Nestemäisen kemikaalin käyttö vaatii merkittäviä investointeja annostelulaitteiston hankintaan ja turvalliseen asennukseen, annostelun automatiikan hallintaa sekä huoltoa.

Kustannustehokkuus on yksi tärkeimmistä kriteereistä arvioitaessa myös fosforin poiston tehokkuutta sekä fosforin hyötykäyttöä lannoitekäytössä. Epäorgaaniset fosforilannoitteet ovat hyvin edullisia niiden kilohinnan ollessa muutamia kymmeniä senttejä. Ravinteiden kierrätyksen kannattavuuden arviointi näin ollen pelkästään talteen otettujen ravinteiden hintana ja määränä tarkasteltuna ei ole perusteltua. Positiivinen vaikutus biopolymeerisaostukselle ja sen mahdollistamalle ravinteiden kierrätykselle löytyy esimerkiksi vesistöjen tilan paranemisena ja hajakuormituksen vähenemisenä. Vesistöjen tilan paranemiselle on vaikea määritellä kustannushyötyjä, joten biopolymeerisaostuksen laajempi soveltaminen hajakuormituksen vähentämisessä edellyttäisi julkisen sektorin tukea ja lisäpanostuksia tutkimukseen etenkin ravinteiden kierrätyksen osalta.

Vertailtaessa pelkkiä kemikaalikuluja saostetun fosforin kilohinnan perusteella, nähdään että biopolymeerisaostuksen kustannukset ovat noin 9 kertaa suuremmat kuin ferrisulfaattisaostuksen (Kuva 25).



Kuva 25. Fosforipitoisuuden vaikutus poistetun fosforin kilohintaan biopolymeerisaostuksella ja ferrisulfaattisaostuksella. Laskennassa on käytetty 2 l/s virtaamaa. Biopolymeerisaostuksen kulujen laskennassa oletuksena on 70 % reduktio, biopolymeerin hinta 0,78 €/l ja annostus 1/2000 virtaamaan suhteutettuna. Ferrisulfaattisaostuksen kulujen laskennassa oletuksena on 50 % reduktio, ferrisulfaatin hinta 0,80 €/kg ja annostus 1/50 000 virtaamaan suhteutettuna. Ferrisulfaatin kulutus käytännön toteutuksessa on kaksinkertainen teoreettiseen kulutukseen nähden (Kaseva 2013).

Ferrisulfaattisaostuksen hinnan ollessa huomattavasti edullisempi, on menetelmällä kuitenkin huomattavia haittapuolia (taulukko 11). Ferrisulfaatin liukeneminen veteen laskee veden pH arvoa, joka voi olla ongelma etenkin käsiteltäessä jo luontaisesti happamia luonnonvesiä. Biopolymeereillä on laaja pH käyttöalue eikä sen käytöllä ole merkittävää vaikutusta veden happamuuteen. Ferrisulfaatilla saostettu fosforipitoinen liete sisältää paljon rautaa ja fosfori on tiukasti sitoutunut kasveille käyttökelvottomaan muotoon. Biopolymeerisaostuksen liete on biohajoavaa, ei sisällä metalleja ja siihen saostunut fosfori on osittain liukoisessa muodossa, jolloin se olisi myös kierrätettävissä lannoitteena.

Biopolymeerien valmistuksen raaka-aineet ovat perinteisen teollisuuden sivuvirtoja, joten ne olisivat erinomaisia esimerkkejä kiertotalouden hyödyntämisestä. Biohajoavan lietteen mahdollistama ravinteiden kierrätys on myös erittäin merkittävä positiivinen lisäarvo biopolymeerisaostuksen valinnassa. Lisäarvoa menetelmälle voidaan nähdä myös vesistöjen tilan paranemisesta sekä ongelmallisen hajakuormituksen vähentämisestä.

Taulukko 11. Biopolymeerisaostuksen ja ferrisulfaattisaostuksen vertailu.

<u>Biopolymeerit</u>	<u>Ferrisulfaatti</u>
+ Ei vaikutusta veden pH:hon	+ Tunnettu ja edullinen menetelmä
+ Ei sisällä raskasmetalleja	- Muodostuva liete sisältää paljon rautaa
+ Biohajoava liete – ravinteiden kierrätys mahdollista	- Laskee käsiteltävän veden pH:ta – ongelma etenkin happamissa luonnonvesissä
+ Raaka-aineet kiertotaloudesta	- Lietteen sisältämät ravinteet eivät kierrätettävissä
- Kustannukset	

3.6.4. Kyselytutkimus yrityksille

Hankkeessa toteutettiin yrityksille suunnattu kysely (Liite 5), jonka tarkoituksena oli selvittää yritysten näkemyksiä biopolymeerien mahdollisuuksista ja potentiaalista liiketoiminnan kannalta. Kyselyyn vastanneilla yrityksillä on jo mm. tärkkelys- ja tanniinipohjaisia kaupallisia biopolymeerejä valikoimissaan ja kiinnostus tuotekehitykseen on suuri. Kotimaisia raaka-ainelähteitä biopolymeereille voivat olla metsäteollisuuden sivutuotteista saatavat tärkkelys, tanniini, selluloosa ja ligniini. Yritykset näkevät biopolymeerien liiketoimintapotentiaalin tulevaisuudessa erittäin hyvänä tai melko hyvänä sekä Suomessa että maailmalla. Hankkeen aikana kaikki mukana olleet yritykset ovat saaneet sekä kansainvälisiä että kotimaisia yhteydenottoja, joten hankkeen tavoitteen uusien liiketoimintamahdollisuuksien tarjoamisesta yrityksille voidaan katsoa näin toteutuneen.

Biopolymeerien käytön edistämiseksi tarvitaan kyselyyn vastanneiden yritysten näkemyksen mukaan ohjauskeinoina erityisesti julkisen sektorin tukea biopolymeerien käytölle mm. biopolymeerien hankintakustannusten kattamiseen sekä lainsäädännön muutoksia, joilla tuetaan ja kannustetaan biopohjaisten kemikaalien käyttöä sekä helpotetaan lietteiden sisältämien ravinteiden kierrätystä. Tutkimukseen ja tuotekehitykseen panostaminen ja rahoituksen jakaminen tähän tarkoitukseen edistäisi biopolymeerien käyttöä merkittävästi. Haasteena biopolymeerien käytön yleistymiselle nähdään myös tuotteiden heikko tunnettavuus alan toimijoiden keskuudessa, ja markkinointi ja muu tunnettavuuden edistäminen olisikin tärkeää.

Biopolymeeripohjaiset saostuskemikaalit vertautuvat yritysten näkemyksen mukaan hyvin perinteisiin saostuskemikaaleihin. Biopolymeerit sisältävät luontaisesti vähemmän metalleja ja klorideja perinteisiin kemikaaleihin verrattuna ja ovatkin siten ympäristöystävällisempiä. Biopolymeereillä saostettu puhdistamoliete soveltuu esimerkiksi biokaasuprosessin syötteeksi paremmin kuin perinteisillä kemikaaleilla tai synteettisillä polymeereillä saostettu liete, ja sen biohajoavuuspotentiaali on korkeampi. Lietteen matala metalli- ja kloridipitoisuus monipuolistaa lietteen jatkokäyttömahdollisuuksia mm. fosforin kierrätyksen suhteen. Lietteenkäsittelyn suhteen myös logistiikkaketjun täytyy olla hyvin optimoitu. Yritykset kehittävät selektiivisesti saostetuille ja kerätyille sakoille myös muita hyötykäyttösovelluksia. Kationisoiduilla tärkkelyspohjaisilla biopolymeereillä on laajakäyttöalue pH:n ja lämpötilan suhteen. Yleensä biopolymeeripohjaisilla saostuskemikaaleilla ei ole merkittäviä pH vaikutuksia käsiteltävään veteen kuten perinteisillä saostuskemikaaleilla. Biopolymeerit ovat oikein käytettyinä erittäin selektiivisiä.

Haasteina biopolymeerien käytön kannalta nähdään etenkin kustannustehokkuus. Tarvitaan myös rohkeutta kokeilla biopolymeerejä uusiin sovellutuksiin. Tunnettuja käyttökohteita biopolymeerien hyödyntämiselle ovat jätevesien käsittelyssä esi- ja jälkiselkeytys ja lietteentiivistys, jolloin jätevedestä poistetaan orgaanista kuormaa kiintoaineena ja jonkin verran fosforia. Rikin, fosforin, typen ja raskasmetallien selektiivinen talteenotto on myös mahdollista biopolymeeriä hyödyntäen.

4. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankkeen viestinnän tavoitteena oli lisätä biopolymeerien tunnettavuutta vesienkäsittelykemikaali-vaihtoehtona, ja lisätä tietoisuutta niiden sovellusmahdollisuuksista maatalouden hajakuormituksen vähentämiseksi ja ravinteiden kierrättämiseksi. Lisäksi tavoitteena oli lisätä maanviljelijöiden ja suuren yleisön tietoisuutta ravinteiden kierrätysmahdollisuuksista.

Hankkeen alkaessa perustettiin nettisivut (www.syke.fi/hankkeet/biop), joiden kautta tiedotettiin tuloksista ja toimenpiteistä hankkeen edetessä. Hankkeen nettisivuja päivitettiin aina kun hankkeessa syntyi uusia keskeisiä tuloksia. Nettisivujen lisäksi hankkeen keskeisiä viestintäkanavia olivat sekä suurelle yleisölle että tutkijoille ja viranomaisille suunnatut ammatilliset tilaisuudet, mediatiedotteet sekä lehtiartikkelit. Sosiaalisen median kanavia (Twitter, Facebook, Instagram) käytettiin myös hankkeessa saatujen tulosten jakamiseen ja tiedottamiseen. Hankkeen lopulliset tulokset esiteltiin loppuseminaarissa Oulussa 20.11.2019, johon oli mahdollista osallistua paikanpäällä tai etäyhteydellä sekä tässä loppuraportissa.

4.1. Viestinnän sisältö

4.1.1. Tiedotteet ja media

Hankkeesta julkaistiin kaksi tiedotetta SYKEN viestinnän kautta. Tiedotteita levitettiin SYKEN nettisivujen ja sosiaalisen median kautta laajasti:

”Biopolymeereistä apu kestävämmän maatalouden kehittämiseen?” [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Biopolymeereista_apu_kestavamman_maatalo\(45371\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Biopolymeereista_apu_kestavamman_maatalo(45371))
12.12.2017

”Biopolymeerit soveltuvat fosforin sitomiseen maatalouden valumavesistä” [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Biopolymeerit_soveltuvat_fosforin_sitomi\(50106\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Biopolymeerit_soveltuvat_fosforin_sitomi(50106))
7.5.2019

Tiedotteiden julkaisu muissa medioissa:

Maaseudun tulevaisuus: ”Kitiinillä valumavesien fosfori talteen – tutkimushanke hakee uusia vaihtoehtoja vesiensuojeluun” <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/ymparisto/artikkeli-1.217393> 12.12.2017

Maaseudun tulevaisuus: ” Uusi innovaatio vesiensuojeluun – biopolymeerit palauttavat peltoilta valuneen fosforin takaisin kiertoon” <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.432348> 20.05.2019

Farmi.net: ”Biopolymeerit soveltuvat fosforin sitomiseen maatalouden valumavesistä” <https://www.farmit.net/kasvinviljely/2019/05/07/biopolymeerit-soveltuvat-fosforin-sitomiseen-maatalouden-valumavesista> 7.5.2019

Aamuset.fi: ” Biopolymeerit soveltuvat fosforin sitomiseen maatalouden valumavesistä” <https://aamuset.fi/artikkeli/4569898/Biopolymeerit+soveltuvat+fosforin+sitomiseen+maatalouden+valumavesista>

Vesitalouden uutiskirje: ”Biopolymeerit soveltuvat fosforin sitomiseen maatalouden valumavesistä” <https://www.vesitalous.fi/lehdet/81/article-5244>

Tekniikka & Talous: ” Tutkijat ottavat talteen maatalousvesien fosforia biopolymeerien avulla – sopii kierrätyslannoitteeksi” <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tutkijat-ottavat-talteen-maatalousvesien-fosforia-biopolymeerien-avulla-sopii-kierratyslannoitteeksi/f2e20c6e-ef4d-3f88-b170-24be004bd527> 7.5.2019

Kemia-lehti: ”Biopolymeerit sitovat fosforia maatalouden valumavesistä” <https://www.kemia-lehti.fi/biopolymeerit-sitovat-fosforia-valumavesista/>

4.1.2. Lehtijutut

Siikajokilaakso-lehti julkaisi artikkelin hankkeesta sekä 13.6.2019 julkaistussa painetussa lehdessä että nettilehdessä

Pelloilta karkaava fosfori takaisin kasvien ruuaksi – SYKE tutkii Ruukissa, miten ravinteita voi sitoa <https://www.siikajokilaakso.fi/uutiset/pelloilta-karkaava-fosfori-takaisin-kasvien-ruuaksi-syke-tutkii-ruukissa-miten-ravinteita-voi-sitaa-6.344.3573258.8730de42b9>

Saarijärveläinen-lehti julkaisi artikkelin hankkeesta 25.9.2018 julkaistussa painetussa lehdessä sekä nettilehdessä

Luonnostako apu fosforin erotteluun?

https://www.saarijarvelainen.fi/web/pdf/2018/18_Tiistai_25.09/index.php

4.1.3. Artikkelit

Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution. SN Applied Sciences, 1:210 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0225-x>)

Maatalouden valumavesin fosfori kiinni ja takaisin pellolle biopolymeerisaostuksella. Vesitalous, 5/2019

4.1.4. Seminaarit & luennot

Posteresitys 3rd European Sustainable Phosphorus Conference-tilaisuudessa Helsingissä 11.6.2018

Seminaariesitys ja demonstraatiotilaisuus Tarvaalan kosteikolla Biotalouskampuspäivässä 09/2018

Hankkeen tulosten esittely Hallituksen Kärkihankekiertueella Joensuussa 30.1.2019

Hanketta esiteltiin ”Hanketorilla” Maatalouden uusimman ympäristötiedon vaihtopäivillä Jyväskylässä 12.2.2019

Hankkeen tulosten esittely Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksessa Vesiensuojelun tehostamisohjelman infotilaisuudessa Oulussa 30.1.2019

Seminaariesitys Tulevaisuuden Biotalous-seminaarissa Puu- ja biotalousmessujen yhteydessä Jyväskylässä 09/2019

Hanke-esite ja ständi Biotalouskampuspäivässä Saarijärvellä 09/2019

Hanke-esitys ja ständi KoneAgriassa 10/2019

Biopolymeerien hyödyntäminen vesienkäsittelyssä ja ravinteiden kierrättämisessä (BioP)-hankkeen loppuseminaari Oulussa, 20.11.2019

4.1.5. Sosiaalinen media

Hankkeelle ei luotu omaa sosiaalisen median viestintäkanavaa, mutta hankkeen tiedotteista, maastotöistä ja tapahtumista tiedotettiin säännöllisesti SYKEN Facebook, Twitter ja Instagram-tileillä.

Hankkeen viestintää voidaan pitää onnistuneena ja viestintäsuunnitelman toimenpiteet toteutuivat pääosin suunnitelmien mukaisesti. Pellonpiennartilaisuutta viljelijöille ei voitu järjestää Ruukin koe-kohteella vallinneiden historiallisen kuivien sääolosuhteiden vuoksi, mutta hanketta on maastossa esitelty medialle sekä paikallisen lukion opiskelijoille. Maataloustieteen päivät järjestetään joka toinen vuosi ja koska vuosi 2019 oli väli vuosi, se ei toteutunut. Hankkeessa mukana olleet yritykset ovat kiitelleet nettisivujen ahkeraa päivitystahtia. Hankkeesta julkaistut tiedotteet ja artikkelit ovat kiinnostaneet laajasti ja poikineet yhteydenottoja myös kansainvälisiltä vesienkäsittelyratkaisuja suunnittelevilta yrityksiltä. Hankkeessa mukana olleet yritykset ovat kokeneet hankkeen lisänneen biopolymeerien tunnettavuutta ja yhteydenottoja yrityksiin.

5. Hankkeen vaikuttavuus / vaikutukset

Hankkeessa luotiin pohja biopolymeereihin perustuvalla vesienkäsittely ja ravinteiden kierrätysratkaisulle. Menetelmä osoittautui tehokkaaksi vesienkäsittelyssä, sillä vedestä saatiin isommilla pitoisuuksilla ja optimiannostuksella poistettua jopa yli 80 % veden kokonaisfosforista ja liukoisesta fosforista sekä veden sameudesta, vaikka tuloksissa esiintyi suurta vaihtelua. Menetelmä on siis potentiaalinen vaihtoehto maatalouden kuormituksen vähentämiseksi. Käytön keskeinen ongelma ja haaste on kuitenkin menetelmän kustannukset, jotka merkittävästi rajoittavat menetelmän sovellettavuutta etenkin hajakuormituksen hallintaan. Taloudellisuuden ja tehokkuuden kannalta parhaat vesiensuojeluhyödyt saavutetaan silloin kun veden fosforipitoisuudet ovat hyvin korkeita, eli tunnettujen ongelmallisten ravinnekuormituslähteiden käsittelyllä. Menetelmä voidaan myös soveltaa rakentamalla se esimerkiksi kosteikon yhteyteen, jolloin se voi tehostaa kosteikon vesiensuojelutehokkuutta ja kosteikolla tapahtuvat tyypin pelkistysprosessit (denitrifikaatio) voivat poistaa prosessissa kasvavaa typpikuormitusta. Menetelmän kustannustehokkuutta voidaan myös parantaa käsittelemällä vettä vain suurimpien kuormituspiikkien aikaan jatkuvatoimien käsittelyn sijaan.

Biopolymeerisaostuksessa syntyvä liete olisi teknisesti mahdollista palauttaa takaisin peltoon nykyisillä maatalouden lietevaunuilla, joten ravinteiden kierrätys menetelmän avulla olisi mahdollista. Lietteiden metalli- ja haitta-ainepitoisuudet alittavat reilusti lannoitelainsäädännön asettamat rajat. Haasteena menetelmän käytettävyydelle ravinteiden kierrätyksessä on sen korkeat kustannukset ja fosforin sitoutuminen lietteessä kasveille suurimmaksi osaksi käyttökelvottomaan muotoon. Lietteen säilöntä ja prosessointi maatalaolosuhteissa on haaste lietteen korkean vesipitoisuuden johdosta. Lietteen kierrätys lannoitteeksi vaatisikin sen välitöntä levitystä pelloille silloin, kun sitä runsaimmin muodostuu, tai lietteen kuivatukselle ja jatkoprosessoinnille olisi luotava tarvittavat järjestelmät maataloille. Liete paransi pieninä pitoisuuksina kasvien kasvua, joten lietteen välittömällä levityksellä voidaan palauttaa ravinteita kiertoan. Laboratoriomittakaavan kokeiden perusteella lietteestä alkaa nopeasti liueta ravinteita kylmässä vedessä, joten erityisesti keväällä ja syksyllä laskeutusallas tulisi tyhjentää 1 – 2 viikon välein, jotta ravinteita ei merkittävästi huuhtoudu takaisin vesistöön.

Hankkeen positiivisena vaikuttavuutena voidaan nähdä myös biopolymeerien tunnettavuuden lisääntyminen vaihtoehtona jätevesienkäsittelyssä ja ravinteiden kierrätyksessä. Hanke ja sen tulokset saivat paljon näkyvyyttä, joten biopolymeerien tutkimukselle ja menetelmän jatkokehitykselle syntyi hyvät jatkoedellytykset.

6. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

Hankkeessa onnistuttiin konkreettisesti toteuttamaan ja todentamaan biopolymeerien soveltuminen maatalouden valumavesien käsittelyyn ja fosforikuormituksen vähentämiseen pilot-mittakaavassa ja aidoissa maasto-olosuhteissa. Poikkeuksellisista sääoloista, mm. kahdesta historiallisen kuivasta kesästä, johtuen maastotestejä saatiin toteutettua Ruukin koekohteella vain lyhyellä ajanjaksolla, jolloin mm. lietteen käsittelyyn ja sen logistiikkaan liittyviin kysymyksiin ei saatu vastauksia. Taloudellisesti biopolymeerien käyttäminen fosforin poistoon tutkimuskohteena olleen pienen maatalan kokoomaajan kaltaisessa paikassa ei ole kannattavaa. Teoreettisesti tarkasteltuna kannattavuutta saadaan parannettua keskittymällä kohteisiin, joissa käsitellään korkean virtaaman ja korkean pitoisuuden aiheuttamia lyhytaikaisia kuormitushuippuja. Jatkuvassa käytössä biopolymeerin kulutus, laitteiston huolto ja syntyvän lietteen käsittely nostavat toiminnan kustannuksia huomattavasti.

Hankkeessa mukana olleet sidosryhmät (maanviljelijät ja yritykset) ovat olleet kiinnostuneita tuloksista ja menetelmän käytännön kokeiluista. Haasteena menetelmän käytännön soveltamiselle nähdään kuitenkin etenkin menetelmän hinta, joka tällä hetkellä estää biopolymeerien käytön yleistyksen hajakuormituksen hallinnassa ja maatalouden valumavesien käsittelyssä. Lietteiden sopivuus lannoitekäyttöön ei vastannut odotuksia ja sen kierrätettävyydelle ja jatkokäytölle ei hankkeen aikana pystytty kehittämään konkreettista toimintamallia.

Hankkeessa tuotettuja tuloksia voidaan hyödyntää biopolymeereihin perustuvien vesiensuojelumenetelmien kehittämisessä ja suunnittelussa. Menetelmä ja sen soveltamismahdollisuudet eivät ole mitenkään rajattu pelkästään maatalouden jätevesien käsittelyyn, vaan biopolymeerejä ja hankkeessa kehitetty menetelmää voidaan soveltaa myös metsätalouden, kaivosteollisuuden tai turvetuotannon jätevesien käsittelyssä. Biopolymeerejä voidaan luonnollisesti soveltaa myös yhdyskunta- ja teollisuusjätevesien käsittelyssä. Menetelmän maastossa toteutetut käytännön kokeet kuitenkin todistivat biopolymeerien soveltuvuuden fosforin poistoon, joten jatkotutkimuksissa biopolymeerisaostusta voisi tutkia erilaisissa kohteissa ja muilla toimialoilla, joissa kemikaalikustannukset eivät ole niin merkittävässä roolissa.

Biopolymeerien käyttö maatalouden vesienkäsittelyssä vaatii jonkinlaisen taloudellisen tuen, kuten ympäristötuen, jotta viljelijä voisi perustaa kuivatusojaan hankkeessa suunnitellun vesienkäsittelyratkaisun, hankkia biopolymeerit sekä ylläpitää järjestelmää.

Biopolymeerikäsittelyä tulee tarkastella kokonaisuutena huomioiden kaikki menetelmän vaatimukset. Sovelluskohde tulee valita siten, että käsitellään pistemäisesti korkean fosforikuormituksen kohteita. Menetelmän haittapuolena nähdään typpipitoisuuden nousu käsittelyn vaikutuksesta, joten luonnonvesissä toteutettavana biopolymeerisaostuksen kohteet tulee valita siten että typen pitoisuuden nousu ei aiheuta ongelmia vastaanottavassa vesistöissä. Vesienkäsittelylaitteiston yhteyteen tulisi kehittää myös muita ratkaisuja, joilla voidaan hillitä typpipitoisuuden nousun vaikutuksia. Näitä voisivat olla mm. käsittelyn sijoittaminen kosteikon yhteyteen tai valumavesien ilmastus typen poiston tehostamiseksi. Valumavesiä voidaan käsitellä myös vain korkeiden virtaamien, ja niihin usein liittyvien korkeiden pitoisuuksien, aikana. Korkea virtaama tarkoittaa myös suurempaa kemikaalikulutusta, joten kemikaalia täytyy olla saatavilla ja laitteiston huoltoon sekä laskeutusaltaaseen kertyvän lietteen käsittelyyn tulee varautua.

Biopolymeerisaostuksesta tekee erityisen houkuttelevan vaihtoehdon siinä syntyvä biohajoava, fosforipitoinen liete. Biopolymeeriliete parantaa esimerkiksi biokaasuprosessissa käytetyn puhdistamolietteiden biohajoavuutta. Biopolymeerisaostuksessa syntyvä liete ei sisällä metalleja kuten rautaa ja alumiinia, joiden pitoisuudet perinteisillä saostuskemikaaleilla saostetussa lietteessä ovat merkittäviä. Lietteen käsittelyn logistiikkaa ja menetelmiä sen hyödyntämiseen lannoitekäytössä tulisi myös kehittää. Tässä hankkeessa käsitellyn veden fosforipitoisuus oli alhainen, joten muodostuneen lietteen ravinnepitoisuudet olivat myös pieniä. Jatkossa tulisi selvittää korkeampien ravinnepitoisuuksien vaikutusta biopolymeerilietteiden koostumukseen ja sen sisältämien ravinteiden käytettävyyteen kierrätyslannoitteena.

7. Talousraportti

Hankkeen budjetti oli 408 000 euroa, josta Ympäristöministeriön rahoitusosuus oli 80 % (326 400 euroa) ja loput 20 % (81 600 euroa) oli hankkeen toteuttajien Suomen Ympäristökeskuksen ja Jyväskylän Ammattikorkeakoulun omarahoitusosuutta (taulukko 12). Hankkeen budjetti tuli kokonaisuudessaan käytetyksi ja hieman ylitettyä kustannusten ollessa lopulta 421 008 euroa, josta ympäristöministeriön rahoitusosuus oli 326 000 euroa ja hanketoteuttajien omarahoitusosuudeksi jäi

95 008 euroa. Budjetin ylitys katettiin hanketoteuttajien omarahoitusosuuden kasvattamisella. Rahoituksen avulla saatiin toteutettua kaikki tavoitteena olleet työt. Hankkeen koekohteille rakennettujen vesienkäsittelyratkaisujen kustannukset olivat jonkin verran budjetoitua suurempia, joka aiheutti kustannusten ylityksen ulkopuolisten palvelujen osalta. Hankkeen aikana sattuneiden poikkeuksellisen kuivien kesien johdosta hankkeen budjettia kului suunniteltua vähemmän maastotöihin, vesinäytteiden ottoon sekä niihin liittyviin matkakuluihin ja laboratoriohenkilökunnan palkkaukseen. Sen sijaan budjettia käytettiin enemmän aineistojen analysointiin, julkaisujen kirjoittamiseen ja kyselytutkimuksen sekä loppuseminaarin järjestelyyn.

Taulukko 12. Hankkeen budjetti ja toteutuneet kustannukset.

Kustannukset	SYKE	JAMK	Yhteensä	
	Budjetoitu	Budjetoitu	Budjetoitu	Toteutunut
Palkkakulut	110770	110469	221239	231318
Matkustuskulut	9436	1800	11236	5784
Ulkopuoliset palvelut	30878	11000	41878	46844
Muut kustannukset	71785	61863	133648	137063
Yhteensä	222868	185132	408000	421008
YM rahoitusosuus			326000	326000
Omarahoitusosuus			82000	95008

8. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Biopolymeerien käytön kannattavuuden ja kiertotalouden periaatteiden kannalta olisi tärkeää tutkia enemmän kotimaisia raaka-ainelähteitä biopolymeerien raaka-aineina ja niistä valmistettujen saostuskemikaalien vesienkäsittelytehokkuutta. Esimerkiksi tanniinia saataisiin runsaasti metsäteollisuuden sivujakeena puun kuorijätteestä uuttamalla. Kotimaisen tanniinipohjaisen biopolymeerin käyttö joko maatalouden valumavesien tai yhdyskunta- ja teollisuusjätevesien käsittelyssä voisi korvata perinteisemmät synteettiset polymeerit tai rauta- ja alumiinisulolat, jolloin toiminta edistäisi paremmin kotimaista kiertotaloutta verrattuna siihen, että vesien käsittelyssä käytetään ulkomailta tuotuja biopolymeerejä.

Biopolymeerilietteen ominaisuuksia ja sen käytön tehostamista ravinteiden kierrätyksessä tulee selvittää lisää, jotta lietteen lannoitusmahdollisuuksista ja optimaalisesta käytöstä saadaan paremmin selville. Biopolymeerisaostuksen suurimpana etuna voidaan pitää metallittoman biohajoavan lietteen muodostumista, joten sen sisältämien ravinteiden kierrätettävyyttä tulisi tutkia lisää. Tämän hankkeen koekohteilla valumavesien fosforipitoisuudet olivat alhaisia, joten syntyneen lietteen ravinnepitoisuus ei odotetusti ollut merkittävä. Ravinteiden kierrätystä olisi hyödyllistä selvittää kohteessa, josta tulee merkittäviä fosforipäästöjä joko suuren virtaaman tai korkean fosforipitoisuuden vuoksi. Lietteiden sisältämistä ravinteista vain pieni osa oli kasveille käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa, joten lietteiden käsittelyä kehittämällä voidaan pyrkiä parantamaan ravinteiden käyttökelpoisuutta. Biopolymeerisaostuksessa syntyvän lietteen säilytykselle, käytölle ja lietteen keräykselle täytyy vielä kehittää taloudellisesti kestävä ratkaisu, jotta lietteiden ison mittakaavan kierrätykselle on paremmat edellytykset. Biopolymeerien käytön sovellusmahdollisuuksia kannattaa tutkia ja selvittää myös kaivos- ja hulevesien tai turvetuotannon valumavesien käsittelyssä.

Jatkotutkimuksissa tulisi selvittää myös biopolymeerien käytön ekologisia vaikutuksia mm. eliöstöön. Biopolymeerit ovat vielä uusia tuotteita saostuskemikaaleina, ja ennen niiden laajamittaisempaa soveltamista luonnonvesien käsittelyyn tulisi toteuttaa laajempaa seuranta- ja tutkimusta vesistövaikutuksista.

Hankkeen maastokokeiden toteutusta hankaloittivat molempina hankkeen toteutusvuosina vallinneet historiallisen kuivat sääolosuhteet. Jatkossa vastaavissa hankkeissa voisi etukäteen suunnitella miten maastokokeita voisi toteuttaa sääolosuhteista huolimatta.

9. Johtopäätökset ja yhteenveto hankkeesta

Hankkeessa saatiin ensimmäistä kertaa tutkimusnäyttöä siitä, että biopolymeerejä voidaan onnistuneesti soveltaa maatalouden valuntavesien käsittelyssä maasto-olosuhteissa ja ravinteiden kierrätyksessä. Biopolymeerien käytön keskeinen haaste etenkin maatalouden hajakuormituksen hillintään soveltamisen kannalta on menetelmän korkeat käyttökustannukset. Paras hyöty biopolymeerisaostuksella saataisiin käsittelemällä hyvin korkeita ravinnepitoisuuksia ja hankkeen kohteisiin verrattuna suurempia vesimääriä. Vesimäärän kasvu kuitenkin nostaa käyttökustannukset nopeasti kestävämmälle tasolle. Biopolymeerien käytön kustannustehokkuutta tulee siis jatkossa parantaa, jotta menetelmä olisi taloudellisesti kannattavampi.

Biopolymeerilietteen ravinteita voidaan kierrättää lannoitukseen pieninä lietemäärinä tai levittää kasteluna, jolloin se voi parantaa kasvien kasvua. Hankkeen koejärjestelyissä muodostuneessa biopolymeerilietteessä ravinnepitoisuudet olivat alhaisia. Ravinteiden kierrätystä tulisi tutkia myös käsittelemällä valumavesiä, joissa on suuremmat ravinnepitoisuudet ja tutkimalla näistä syntyneen biopolymeerilietteen koostumista ja soveltumista ravinteiden kierrätykseen. Biopolymeerisaostuksen yhteydessä syntyvän lietteen jatkokäsittelylle ja säilömiselle tulee kehittää vielä jatkotoimenpiteitä ja ratkaisuja. Lisäksi biopolymeerilietteen lannoitusvaikutusten tutkimus vaatii lisäselvitystä siitä voidaanko lannoitustulosta parantaa erilaisella lietteen käsittelyllä ja jatkojalostuksella.

Hanke onnistui ja toteutui hyvin pitkälle niin kuin oli suunniteltu. Hankeajalle sattui kaksi poikkeuksellisen kuivaa kesää, jotka merkittävästi rajoittivat menetelmän testausta Ruukin pilottikohteella, jossa menetelmän toimivuutta voitiin tutkia vain kun veden virtaama oli vähintään 1-2 l/s. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen Tarvaalan pilottikohteelle ei teknisten ongelmien takia voitu asentaa vesienkäsittelyä ratkaisua kiinteäksi osaksi kosteikkoa tai siihen laskevaa kuivatusojaa.

Tietoisuus biopolymeereistä saostuskemikaalina ja sovellusmahdollisuuksista vesiensuojelussa kasvoi merkittävästi hankkeen aikana. Hankkeessa mukana olleet yritykset ovat olleet tyytyväisiä hankkeen tuloksiin. Sekä mukana olleet yritykset että hankkeen toteuttaja ovat saaneet yhteydenottoja menetelmän soveltamisesta ja jatkotutkimuksesta kiinnostuneilta tahoilta. Hankkeen toteuttajien näkökulmasta on hyvin todennäköistä, että hankkeen myötävaikutuksesta syntyy jatkohankkeita biopolymeerien käytöstä jätevesien käsittelyssä, vesiensuojelussa ja ravinteiden kierrätyksessä.

10. Kirjallisuus

Beltrán-Heredia, J., & Martín-Sánchez, J. 2009. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. *Desalination*, 249:353–358

Itävaara, Merja, Vikman, Minna, Kapanen, Anu, Venelampi, Olli & Vuorinen, Arja. Kompostin kypsyyssitestit. Menetelmäohjeet [Compost maturity. Method book]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita - Research Notes 2351. 38 s

Karppinen, A., Postila, H. 2015. Turvetuotannon vesistökuormituksen muodostuminen ja sen hallintamahdollisuuksia. SulKa-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 23/2015. Helsinki. Suomen Ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/155350>

Kaseva, A. 2013. Maatalouden valumavesien ferrisulfaattikäsittely – Case: Active Wetlands, Nautela pilot. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63134/Kaseva_Antti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kaseva, A., Vainio, L., Jantunen, M., Nurminen, H. 2017. Fosforin saostaminen virtavedestä – pilottilihanke Paattistenjoella. Loppuraportti. <https://www.ym.fi/download/noname/%7BABB1A9E7-949C-452C-A5BE-59BF26C658EE%7D/134440>

Koskiaho, J., Puustinen, M., Koikkalainen, K., Salo, T., Piirimäe, K. 2013. Modeling, assessments and cost-effectiveness analysis of constructed wetlands and active methods for the treatment of runoff from agricultural areas. final report of the Active Wetlands interreg IVA project. MTT report 94. Jokioinen. MTT. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-451-9>

Leppämäki, A. 2019. Biopolymeerien käyttö vesienpuhdistuksessa ja ravinteiden kierrätyksessä. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052913236>

Närvänen, A., Uusitalo, R. 2014. Ferix-3-saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella 2012 ja 2013. MTT raportti 155. Jokioinen. MTT. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-555-4>

Szyguła A, Guibal E, Palacín M, Ruiz M, Sastre AM (2009) Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation-flocculation using chitosan. *J Environ Manag* 90:2979–2986

Turunen, J., Karppinen, A. & Ihme, R. 2019 a. Effectiveness of biopolymer coagulants in agricultural wastewater treatment at two contrasting levels of pollution, *SN Applied Sciences*, 1: 210. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0225-x>

Turunen, J., Nilivaara-Koskela, R., Stenman, T., Ruuska, K., Lahtela, S., Karppinen, A. & Ihme, R. 2019 b. Maatalouden valumavesin fosfori kiinni ja takaisin pellolle biopolymeerisaostuksella. *Vesitalous*, 5/2019: 33-39.

Uusitalo, R., Närvänen, A., Rasa, K., Salo, T., Koskiaho, J., Puustinen, M., Brax, A., Erkkilä, E., Vilhunen, S., Joki-Heiskala, P., Kaseva, A., Huhta, E., Leskinen, P., Liira, M., Saaremäe, E., Poolake, M., Tamm, T., Kasak, K., Talsep, I., Tamm, I. 2013. Active Wetlands – the use of chemical amendments to intercept phosphate runoffs in agricultural catchments. Final report of the Active Wetlands Interreg IVA project. MTT report 92. Jokioinen. MTT. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-448-9>