



Jätevesityypen talteenotto ja hyödyntäminen kierrätysravinteena KiertoTyppi -hanke

Loppuraportti

15.12.2016

Hankkeen päätoteuttaja: Gasum Biovakka Oy
Yhteyshenkilöt: Eeli Mykkänen (15.9.2016-31.12.2016)
Teija Paavola (1.1.2015-14.9.2016)

Ympäristöministeriön RAKI-ohjelma
Hankkeen toteutusaika: 1.1.2015 – 31.12.2016



1. Tiivistelmä

KiertoTyppi -hankkeen tavoitteena oli demonstroida käytännössä ja käytännön kohteessa miten ja millaisella tehokkuudella jätevesistä on mahdollisuus ottaa talteen typpeä kustannustehokkaasti ja valmistaa siitä kierrätystyppituote, jota voidaan käyttää fossiilisin panoksin valmistettujen typpituotteiden sijasta. Hankkeessa toteutettiin koeajoja Gasum Oy:n Turun biokaasulaitokselle siirrettyllä typen strippauslaitteistolla. Hankkeen tulokset osoittivat, että yhdyskuntien puhdistamolieteperäisistä jätevesistä on mahdollista tuottaa epäorgaaniseksi lannoitteeksi luokiteltavaa typpivettä. Tutkitulla strippausmenetelmällä saadaan oikein mitoitettuna alennettua puhdistamolieteperäisen rejektiveden jätevedenpuhdistamolle aiheutuvaa typpikuormitusta 50 %. Hankkeessa tutkitun kokoluokan järjestelmällä on mahdollista ottaa typpeä talteen 500 kg päivässä. Tuotetun kierrätystyppituotteen analyysitulokset osoittivat, että typpivesi on hyödynnettävissä turvallisena kasviraivina maatalouteen. Orgaaniset haitta-aineet ja lääkeaineet eivät pääsivät siirtyä typpiveteen, lukuun ottamatta helposti haihtuvia PAH-yhdisteitä, joiden pitoisuudet jäivät kuitenkin hyvin alhaiselle tasolle. Tuotettu typpivesi soveltuu myös teollisiin käyttökohteisiin kuten savukaasujen pesuun, joskin käytössä olevia typpituotteita alhaisempi typpipitoisuus voi aiheuttaa haasteita tuotteen jäätymisessä ja logistiikassa. KiertoTyppi -hankkeen kokonaisbudjetti oli noin 273 000 €. Koelaitteiston asennuskustannusten ja toteuttajan omarahoituksen nousun vuoksi kustannusarvio toteutui 132 %:sti. Hanke rahoitettiin Ympäristöministeriön RAKI-ohjelmasta. Yritysrahoittajina olivat Gasum Biovakka Oy ja Ekokem Oyj.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Typen talteenotosta puhutaan selvästi vähemmän kuin fosforin talteenotosta. Kuitenkin on todettu, että myös typen kierrätyksellä on globaalia merkitystä. Maatalous tarvitsee reaktiivista typpeä. Se muutetaan ilmakehästä reaktiiviseen muotoon, minkä jälkeen kasvit voivat hyödyntää sitä. Reaktiivista typpeä valmistetaan 121 miljoonaa tonnia vuosittain. Maatalouden lisäksi reaktiivista typpeä tarvitaan erilaisissa teollisuusprosesseissa, kuten esimerkiksi savukaasujen pesussa katalyyttinä ja metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamoilla mikrobien ravinnelähteenä.

Typpeä voidaan kierrättää sulkemalla materiaalivirrat. Orgaanisista massoista voidaan tuottaa biokaasulaitoksilla uusiutuvaa energiaa ja massojen sisältämä typpi voidaan kierrättää mädätysjäännökseenä muiden ravinteiden kanssa kasvinravinteeksi. Mädätysjäännös sellaisenaan ei kuitenkaan ole tuotteistettu ravinnetuote, vaan ravinnepitoisuuksien näkökulmasta laimea massavirta, joka sisältää ravinteita niissä pitoisuuksissa ja suhteissa kuin laitokselle sisään otetut raaka-aineet ovat sisältäneet.

Yhdyskuntien jätevedet sisältävät merkittäviä määriä typpeä, josta suurin osa pyritään haihduttamaan ilmaan typpikaasuna jätevedenpuhdistamoiden aktiivilieteprosesseissa, jäljelle jääneen typen päätyessä puhdistamolietteisiiin ja purkuvesistöihin. Jätevedenpuhdistamoilla kierrätetään merkittäviä määriä typpeä myös ns. sisäisessä kierrossa. Typen sisäinen kierto kuluttaa puhdistamoiden kapasiteettia ja saattaa nousta kynnyskysymykseksi viemärintijärjestelmän laajentamiselle. Sisäisen kierron alentaminen vapauttaisi olemassa olevien puhdistamoiden kapasiteettia uusille ”asiakkaille”.

Typpeä palautuu puhdistamon alkuun lietteen mekaanisessa erotuksessa muodostuvan rejektiveden mukana. Rejektivesi erotetaan joko sakeutetusta lietteestä tai biokaasukäsittelyn jälkeisestä mädätysjäännöksestä esimerkiksi lingoilla tai suotonauhapuristimilla. Palautuva typpimäärä on suurempi, mikäli jätevedenpuhdistamolla on biokaasulaitos tai liete käsitellään biokaasulaitoksella, josta jätevedeksi luokiteltu rejektivesi palautuu jätevedenpuhdistamolle. Sisäiseen kiertoon päätyvän typpimäärän kasvaminen biokaasuprosessikäsittelyn yhteydessä johtuu anaerobisen käsittelyn perusbiologiasta eli hapettomissa olosuhteissa tapahtuu ammonifikaatiota,



joka nostaa liukoisen typen eli ammoniumtypen osuutta suhteessa kokonaistyppeen, ja näin nostaa mekaanisessa erottelussa rejektiveden päätyvän typen määrää.

Ammoniumtyypeä ($\text{NH}_4\text{-N}$) voidaan poistaa strippaamalla sitä ammoniakkinä (NH_3) esimerkiksi jätevedestä kaasufaasiin. Strippausteknologian merkittävin etu suhteessa muihin käsittely- ja ravinteiden talteenottomenettelmiin on mahdollisuus ottaa typpi talteen puhtaana typpiliuoksena¹. Strippaus perustuu veden ja ammoniakkin höyrönpaineiden eroon. Kun pH ja lämpötila ovat riittävän korkeat, ammoniakki – vettä helpommin höyrystyvänä komponenttina – haihtuu kaasufaasiin. Lämpötilan ja pH:n lisäksi myös strippauksessa käytettävällä ilmamäärällä voidaan vaikuttaa ammoniakkin siirtymisen tehokkuuteen. Yleensä esitetään, että pH nostetaan noin arvoon 11 ja syöttölämpötilana käytetään 70 °C:tta. Käytännössä on kuitenkin havaittu, että rejektiveden pH:n nostaminen ko. tasolle aiheuttaa huomattavat käyttökustannukset, mikä vähentää kiinnostusta järjestelmän käyttöön ottoon potentiaalisesta tehokkuudesta huolimatta. Biokaasuprosessilla on kuitenkin jo itsessään pH:ta nostava vaikutus. Käyttökustannusten näkövinkelistä järkevämpää lieneekin nostaa pH:n sijasta lämpötilaa eli nostaa lämpötila vähintään 80 °C:een ja stripata olemassa olevassa pH:ssa. Teoriassa ammoniumtypen talteenottoaste voisi tässä lämpötilassa olla 60 – 75 %. Lämpötilan nostaminen on ainakin biokaasulaitoksen omaavilla jätevedenpuhdistamoilla tai erillisillä biokaasulaitoksilla kustannustehokkaampaa kuin pH:n nostaminen, koska lämpöenergiaa on yleensä saatavilla omasta prosessista ja sitä on usein vielä ylimäärin.

Teollisuudessa käytetään savukaasujen pesussa katalyyttinä eri vahvuisia ammoniumtyppiliuoksia. Teknisestä toteutuksesta riippuu missä vahvuudessa liuosta käytetään. Tärkeintä on saada liuos mahdollisimman tasaisesti jaettua pesujärjestelmään. Käytännössä liuosten käyttöväkevyydet vaihtelevat välillä 2–30 %. Jätevesistä on strippausprosessin avulla mahdollista tuottaa ko. vahvuista kierrätystyppiliuosta, jolla voidaan korvata energiantensiivistä fossiilisiin energianlähteisiin perustuvaa urean tuotantoa ja tästä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.

Strippausjärjestelmällä tuotettavissa oleva noin 5 % typpiliuos soveltuu perinteisessä maatalouden kasvinravinnepäkäytössä raakalannan typpipitoisuuden nostamiseen ja kasvin suojelemissä yhteydessä kasvustoon levitettäväksi typpiliksiksi. Suomessa ei toistaiseksi ole käytössä sellaista kalustoa, jolla näin väkevää nestemäistä tuotetta pystyttäisiin yksinään tasaisesti levittämään. Euroopassa käytetään kuitenkin maan sisään injektiovia laitteistoja, johon tuote soveltuisi. Todennäköisesti myös täsmäviljely tulee Suomessa yleistymään, mikä lisää ko. tuotteen kysyntää. Maatalouden kasvinravinnepäkäytön kannalta on kuitenkin varmistettava, että tuotteeseen ei siirry haitallisia määriä raaka-aineessaan eli jätevesilietteessä esiintyviä orgaanisia haitta-aineita ja lääkeaineita. Mikäli tuote on puhdas, ei liene tarpeellista myöskään rajoittaa sen käyttöä samalla tavoin kuin puhdistamolieteperäisten lannoitevalmisteiden käyttöä näistä riskeistä johtuen tällä hetkellä säädellään.

RAKI-ohjelma toteuttaa Suomen Itämeri-sitoumusta ja tavoitetta tehdä Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. KiertoTyppi-hankkeen tavoitteena oli osaltaan vastata RAKI-ohjelman tavoitteisiin kehittämällä käytännön kohteessa jäteveden ja jätevesilietteen ravinteiden talteenottoteknologiaa ja kehittämällä kierrätysravinnetuote, jota voidaan käyttää fossiilisiin panoksiin valmistettujen typpituotteiden sijasta. Hankkeen tavoitteena oli myös varmentaa mahdollisuudet käyttää tuotettua kierrätystyppituotetta uudessa käyttökohteessa teollisuudessa, ensisijaisesti savukaasujen pesussa, sekä turvallisesti kasvinravinteena maataloudessa. Tavoite oli tuottaa koelaitteistolla typpipitoisuudeltaan vähintään 5 % ammoniumvettä, ja saavuttaa 50 % typen talteenottoaste biokaasulaitoksen rejektivedestä. *Hankkeen tulostavoitteena oli saada tietoa ko. toiminnan tehokkuudesta sekä ympäristön että taloudellisuuden suhteen eri hyödynsaajien kannalta. Tavoitteena oli tuottaa*

¹ Luostarinen ym. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT Raportti 27.



käytännön koetoiminnalla ja laitteiston optimoinnilla tietoa biokaasu-, lannoite- ja jätevedenpuhdistus -alojen toimijoiden hyödynnettäväksi.

3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Hankkeen pää toteuttaja oli Gasum Biovakka Oy partnerinaan Ekokem Oyj. Tiedonsiirtoyhteistyötä tehtiin Vesilaitosyhdistyksen (VVY) ja Baltic Sea Action Groupin (BSAG) kanssa. Tiedonvaihtoa tehtiin osaltaan myös Luke:n Täsmätyppi-hankkeen kanssa.

Hankkeessa siirrettiin Gasumin Vehmaan biokaasulaitoksella tarpeettomaksi jäänyt strippausjärjestelmä Turun biokaasulaitokselle ja integroitiin ko. laitoksen jätevedenkäsittelyjärjestelmään. Asennustestiajoissa varmistettiin laitteiston tekninen toimivuus sekä suunniteltiin ja toteutettiin tarvittavat muutokset mm. lämmönsiirron parantamiseksi. Teknisen toiminnan varmistuttua aloitettiin varsinaiset järjestelmän optimointikoeajot, joissa säädettiin järjestelmän paineita, pinnan korkeutta, lämpötiloja eri kohdissa, pH:ta, virtaamia, rejektiveden ilmastustehoa ja seurattiin eri toimenpiteiden vaikutuksia typpitasoihin eri vaiheissa. Optimointikoeajojen tavoitteena oli säätää järjestelmä toimimaan typen talteenoton ja/tai tuotetun ammoniumveden laadun kannalta parhaalla mahdollisella tavalla. Järjestelmä oli jatkuvassa käytössä, mutta säätöjen muutoksia tehtiin ajoittain, jonka jälkeen seurattiin toimintaa pidemmällä aikavälillä. Laajemmat näytteenotot tehtiin ns. intensiivinäytteenottopäivinä (2 kertaa), jolloin laitteistoa ajettiin mahdollisimman tehokkaasti typpiveden laatua optimoiden. Tällöin Ammoniumveden laatu analysoitiin tarkkaan erityisesti savukaasujen pesun näkökulmasta, mutta myös kasvinravinnepölyn näkökulmasta. Turvallisen hyödynnettävyyden varmistamiseksi ammoniumvedestä analysoitiin laajasti myös lääkeaine- ja orgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet.

Hankkeessa selvitettiin mahdollisuudet hyödyntää ammoniakkivettä teollisuudessa savukaasujen puhdistuskehiköinä. Hankkeessa kartoitettiin yhteistyössä Eviran kanssa ammoniumveden hyödyntämismahdollisuudet lannoitevalmisteena maatalouteen. Hankkeen loppupuolella käynnistettiin tuotteen toimituslogistiikan suunnittelu ja toimitukset maataloille.

Lisäksi tehtiin kannattavuustarkastelu toiminnanharjoittajan kannalta typen talteenottomenetelmästä, huomioiden lopputuotteen eri käyttökohteet.

Hankkeen tuloksista viestittiin tiedotteilla, alan seminaareissa, nettisivuilla ja sosiaalisessa mediassa. Tiedotus- ja tiedonvaihtoyhteistyötä tehtiin erityisesti Baltic Sea Action Groupin (BSAG) ja Vesilaitosyhdistyksen (VVY) kanssa.

4. Hankkeen tulokset

Typen talteenotto biokaasulaitoksen rejektivedestä

Hanke osoitti, että koeajoissa käytetyllä laitteistolla (kuva 1) pystytään ottamaan hyödynnettävässä muodossa talteen merkittävä määrä biokaasulaitoksen rejektiveden tyypestä, ja leikkaamaan näin jätevedenpuhdistamolle ohjattavan rejektiveden typpikuormaa. Stripperin olosuhteet optimoimalla laitteistolla pystyttiin tuottamaan keskimäärin 2,5-2,8 % tyypeä sisältävää ammoniumvettä, parhaimmillaan jopa lähes 3 %:sta, mikä tarkoittaa biokaasulaitoksen rejektiveden jalostusta typpipitoisuudeltaan noin seitsenkertaiseksi typpiravinnetuotteeksi. Lämpötila oli tällöin n. 80 °C ja pH 9,5. Natriumhydroksidia (NaOH) eli lipeää kului tällöin 2 – 2,5 m³/rejektivesi-

m³. Laitteiston kapasiteetti ja talteenottoteho oli noin 500 kg talteen otettua typpeä päivässä, mikä on merkittävä määrä niin jätevedenpuhdistamon kuormituksen vähentämisen kuin typpiravinteiden kierrätyksenkin näkökulmasta.

Vaikka talteen otetun typen määrät olivat merkittäviä, koeajot osoittivat, että tavoiteltuun 5 % typpipitoisuuden laitteistolla ei päästy. Alempi pitoisuus johtuu käsiteltävän nesteen alemmasta typpipitoisuudesta verrattuna aikaisempaan käyttökohteeseen Vehmaan biokaasulaitoksella, jossa 5 %:n pitoisuus saavutettiin. Laitteiston kapasiteetti ei myöskään riittänyt siihen, että täydellä virtaamalla ajettaessa olisi päästy 50 %:n talteenottotehokkuuteen. Ko. kohteessa normaalivirtaamalla laitteiston optimoinnilla typpeä saatiin talteen noin 30 % tehokkuudella. Koejakso osoitti, että käytetty laitteisto on kapasiteetiltaan liian pieni Turun biokaasulaitoksen massavirtoihin ja typen tehokkaampaan talteenottoon. Kuitenkin laitteistoa on mahdollista ajaa jatkuvatoimisesti tuotantomittakaavassa, ja aikaansaada merkittävä typpikuorman leikkaaminen ja typen talteenotto hyödynnettävänä ravinnetuotteena.

Hanke osoitti myös, että käytetty strippausteknologia soveltuu teknisesti hyvin puhdistamolieteperäisen rejektiveden typen talteenottoon. Laitteiston toiminnassa ei ilmennyt pidemmässäkään käytössä mitään toimintaongelmia esim. tukkeutumista likaantumisesta johtuen. Muutenkin laitteisto toimi varsin vakaasti ja häiriöttä. Alkuvaiheessa oli lämmönsiirto-ongelmia johtuen alimittaisesta lämmönvaihdinkapasiteetista. Lisäkapasiteetin suunnittelu ja rakentaminen viivästytti jonkin verran optimointikoeajojen alkamista.



Kuva 1. Typen talteenottolaitteisto asennuksen viimeistelyvaiheessa.

Kierrätystyppituotteen käyttö savukaasujen puhdistuksessa

Voimakattiloissa käytetään savukaasujen typen oksidien (NO_x) pitoisuuden vähentämiseen ammoniakkivettä tai ureaa. Käytetty ammoniakkivesi on yleensä vahvuudeltaan noin 25 %. Ammoniakkivesi syötetään kattilaprosessiin n. 900 °C lämpötilaan, jolloin ammoniakin ja typen oksidien reagoidessa hapen läsnä ollessa syntyy molekyylytipeä ja vettä.



Hankkeessa tehdyissä strippausjärjestelmän koeajoissa tuotetun ammoniakkiveden ammoniumtyppipitoisuus oli noin 2,5 %. Lähtökohtaisesti se soveltuu käytettäväksi kattilaprosessin NOx-päästöjen vähentämiseen. Tehytjen analyysien mukaan kattilapinnoille mahdollisesti kerrostumia ja korroosiota aiheuttavien sekä ammoniakkiveden käsittely- ja syöttölaitteiston mahdollista tukkeutumista tms. aiheuttavien epäpuhtauksien pitoisuudet ammoniakkivedessä olivat alhaisia.

Selkeästi normaalia 25 %:n pitoisuutta laimeamman ammoniakkiveden käytöllä on vaikutusta ammoniakkiveden käsittelylaitteiston (säiliöt, putkistot, pumput, eristykset, saattolämmitykset, suuttimet jne.) mitoitukseen. Myös kuljetuskustannukset kasvavat laimeampaa nestettä kuljetettaessa. Ammoniakkiveden vesiosuus höyrystyy kattilassa ja poistuu laitoksen piipusta häviönä, mikäli laitoksella ei ole savukaasujen lauhdutusjärjestelmää, joten käytetyn ammoniakkiveden vesipitoisuus vaikuttaa myös kattilan mitoitukseen.

Hankesuunnitelmassa mainittuja mahdollisesti erillisenä projektina tehtäviä pilot- tai laitosmittakaavan testejä ei tehty Ekokem Oyj:llä suunniteltua laimeammaksi jääneen ammoniakkiveden pitoisuuden vuoksi. Kierrätystypituotteen käyttö teollisuuden savukaasujen pesussa edellyttäisi kokonaan uusia syöttölaitteistoja.

Kierrätystypituotteen käyttö kasvinravinteena

Stripperillä saatiin tuotettua laadukasta kasviravinteeksi soveltuvaa kierrätystypiravinnetta jätevesilieteperäisestä rejektivedestä. Analyysit osoittivat tuotteen sisältävän varsin puhtaasti ammoniumtyyppiä ja vettä. Typen talteenotto tapahtuu haihdutuksen kautta, jolloin tuotettuun tyypilannoitteeseen siirtyy hyvin vähän muita yhdisteitä kuin ammoniumtyyppiä. Ammoniumtypen pitoisuus tuotteessa on noin 2,8 %, eli 28 kg/m³.

Rejektivedestä, typpivedestä ja puhdistamolalle edelleen johdettavasta strippauksen jälkeisestä jätevedestä analysoitiin valittuja orgaanisia haitta-aineita (PAH, PBDE, PFOS/PFAS) ja lääkeaineita (ibuprofeeni, ketoprofeeni, diklofenaakki, karbamatsepiini, siprofloksasiini), joiden on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu päätyvän rejektiveteen tai joille on odotettavissa raja-arvo EU:n lannoitevalmistelainsäädännön kokonaisuudistuksen myötä (raja-arvo: PAH-16 <6 mg/l). Analyysien perusteella typpivedestä ei löytynyt mitään muita tutkittuja yhdisteitä kuin PAH-yhdisteitä, jotka luonnollisesti helposti haihtuvina potentiaalisesti päätyvät stripperillä tuotettavaan tuotteeseen (Liite 1). PAH-yhdisteiden pitoisuudet typpivedessä ovat kuitenkin erittäin alhaisia (29 µg/l eli 0,029 mg/l) ja suhteessa hehtaarilevitystä määrittelevään typpikiloon selvästi vielä lähtömatriisia alhaisempia (typpivesi 0,2 µg/gN vs. rejektivesi 0,6 µg/gN).

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira kävi hankkeen lopussa läpi koelaitteistolla tuotetun ammoniumveden analyysitulokset todeten että ammoniumvettä on mahdollista markkinoida kansallisen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelon tyyppinimen 1A1 mukaisena tuotteena. Eviran lausunnon mukaan tuote on siis epäorgaaninen yksiravinteinen pääravinnelannoite. Ko. tyyppinimen minimivaatimuksena typpipitoisuudelle on 3 %. Ammoniumvesi soveltuu siis suoraan lannoitevalmisteeksi, mikäli 3 % typpipitoisuus saavutetaan. Tyyppinimen 1A1 mukainen tuote saadaan myös korottamalla typpipitoisuus vaaditulle tasolle seostamalla ammoniumveteen tarvittaessa pieni määrä muuta typpiravinnetta, esimerkiksi ureaa. Merkittävänä tuloksena hanke osoitti, että puhdistamolietettä raaka-aineenaan käyttävä biokaasulaitos voi tuottaa laitosprosessista talteen otettua typpiravinnetuotetta, jolla ei ole lainkaan puhdistamolietteen tyyppillisesti lannoitevalmisteisiin tuomia käytön rajoitteita. Tämä selittyy tuotantotavalla, missä typpi saadaan haihdutuksen kautta talteen hyvin puhtaana vesiseoksena. Ammoniumvedellä ei epäorgaanisena tyyppinimen 1A1 mukaisena lannoitevalmisteena ole lainkaan puhdistamolietteen käytön rajoitteita.



Taloudellinen kannattavuus

Jätevedenpuhdistamosta erillisellä biokaasulaitoksella on yleensä teollisuusjätevesisopimus rejektivedet vastaanottavan jätevedenpuhdistamon tai kunnan kanssa. Rejektivesien käsittelykustannus puhdistamolla koostuu yleensä rejektiveden likaisuuskertoimen ja vesimäärän mukaisesta jätevedenkäsittelymaksusta sekä viemärintimaksusta. Ko. kustannukset ovat puhdistamokohtaisia ja puhdistamoilla on myös hieman erilaisia likaisuuskertoimet laskentakaavoja riippuen ko. puhdistamon tekniikasta, kapasiteetista ym. puhdistamokohtaisista ominaisuuksista. Biokaasulaitosten jätevesien typpipitoisuus on usein merkittävin kustannuksiin vaikuttava tekijä, koska sen pitoisuus on suhteessa muihin kuormitustekijöihin (kiintoaine, BOD, P) kaikkein korkein verrattuna asumajäteveeseen. Lisäksi sopimuksissa voi olla myös jotain tapauskohtaisesti erikseen sovittuja asioita.

Turun seudun puhdistamon laskentakaavojen mukaan Turun biokaasulaitoksen likaisuuskerroin laskee noin 23:sta alle 15:een, kun typpikuormaa leikataan 500 kg/d. Jos jätevesikuution käsittelykustannus on esimerkiksi 0,5 €/m³, tarkoittaa tämä muutos puhdistamolle maksettavan rejektiveden käsittelymaksun alenemista 11,38 €/m³:sta tasolle 7,36 €/m³. Jos vuorokausivirtaama on luokkaa 300 m³/d, niin kustannussäästö on 440 000 €/a, mikäli teollisuusjätevesisopimuksessa ei ole mitään kustannuksiin vaikuttavia erillistekijöitä. Strippausprosessin käsittelykustannukset riippuvat erityisesti energiakustannuksista (laitteiston energian kulutus toimittajan mukaan 600 kW) ja mahdollisista kemikaalikustannuksista (lipeä, 2,60 €/t). Energiakustannuksiin vaikuttaa merkittävästi se, että onko laitoksella ylijäämälämpöä saatavilla ja millä mahdollinen lisälämpö tarvittaessa tuotetaan. Pelkät kemikaalikustannukset vuositasolla ovat tässä tapauksessa luokkaa 320 000 €/a, kun pH nostetaan 9,5:een.

Strippausprosessin kannattavuutta voidaan tarkastella myös jätevedenpuhdistamon kannalta. Jos typenpoiston kustannukset jätevedenpuhdistamolla ovat esimerkiksi luokkaa ~2 €/kgN (sisältäen käyttö- ja investointikustannukset) tarkoittaa 500 kgN/d vähenemä jätevedenpuhdistuskustannuksina 365 000 €/a (Turun seudun puhdistamo Oy, vuosiraportti 2015).

Typpiveden ravinteiden arvo pitoisuudella 28 kgN/m³ on 26,6 €/m³ tai €/t (typpikilon hinta v. 2016 lopussa on 0,95 €/kgN), mikä on selvästi korkeampi kuin esim. puhdistamolieteperäisen mädätysjäännöksen ensimmäisellä kasvukaudella käyttökelpoisten ravinteiden mukaan huomioituna (6,5 €/tonni, NPK huomioitu).

5. Hankkeen vaikuttavuus

Jätevesityypen talteenotto on hankkeen myötä käynnistetty koeajoissa käytetyllä laitteistolla Gasumin Turun biokaasulaitoksella. Typen talteenotolla on välitön vaikutus biokaasulaitoksen aiheuttamaan typpikuormitukseen jätevedenpuhdistamolle, ja siten puhdistamon suorituskykyyn ja Itämereen kohdistuvaan ravinnepäästöön. Turun biokaasulaitoksella käsitellään Turun Seudun Puhdistamon ja lisäksi yli kymmenen muun jätevedenpuhdistamon lietteitä vuosittain 75 000 tonnia. Hankkeen suorana vaikutuksena typpeä saadaan lietteistä talteen vuosittain typpikiloina noin 175 000 kg. Tuotettu Ammoniumvesi on hyödynnettävissä kierrätystyppituotteena, joten hankkeella on välitön vaikutus uudenlaisten kierrätystyppituotteiden käytön lisääntymiseen Suomessa. Turun biokaasulaitoksella tuotettuun ammoniumveteen tullaan seostamaan pieni määrä ureaa typpipitoisuuden nostamiseksi lannoitevalmisteen vaatimalle tasolle. Tuotteelle on tunnistettu hyvin kysyntää maataloilla.

Ammoniumvesi on kiinnostava tuote lannoite- ja kemikaalimarkkinoilla, koska tuote on toistaiseksi harvinainen kierrätysravinnetuote, joka käytännössä sisältää vain typpeä. Tuote luokitellaan lisäksi epäorgaaniseksi lan-



noitteeksi, jolla voidaan nostaa lietalannan typpipitoisuutta siten, että seoksella voidaan hoitaa kasvien lannoitustarpeet kokonaan ilman väkilannoitteita. Tuotteen käyttöä ei rajoita myöskään lannan 170 kg:n kokonaisympyrärajoite. Tuotteella on olemassa markkinat ja käyttökohteet, joten tuotannon ja käytön yleistyttyä tämä näkyy heti väkilannoitteiden korvaamisessa kierrätystyppituotteella.

Teknologian toimivuus on tässä hankkeessa todennettu laitosmittakaavassa ja siten hankkeen tulokset ovat suoraan sovellettavissa muissakin käytännön kohteissa. Yleispätevää kannattavuustulkintaa ei voi kuitenkaan tehdä, koska taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat seikat ovat varsin tapauskohtaisia. Toimijat pystyvät kuitenkin tämän hankkeen tulosten perusteella arvioimaan oman kohteensa tilanteen. Hankkeen esimerkillä ja tuloksia hyödyntäen voidaan Suomessa ottaa talteen merkittävä määrä jätevesitypestä, pienentää jätevedenpuhdistamoiden ja Itämeren typpikuormaa sekä tuottaa laadukasta kierrätysravinteeksi soveltuvaa typpilannoitetta.

6. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankkeen käynnistymisestä tiedotettiin Biovakan internetsivustolla alkuvuonna 2015. Hankkeesta kirjoitettiin artikkeli ulkopuolisen toimittajan toimesta Uusiouutiset -julkaisuun, joka tavoittaa laajasti ympäristö- ja kiertotalousalojen yrityksiä ja sidosryhmiä. Hankkeen tuloksista laadittiin 13.9.2016 tiedote, joka lähetettiin laajalla jakelulla tiedotusvälineille sekä julkaistiin Gasumin internetsivuilla ja sosiaalisen median kanavilla. Tiedote julkaistiin laajasti eri toimijoiden sivustoilla ja se toi laajasti näkyvyyttä hankkeen tuloksille. Mediaosumia on koostettu alla olevaan listaukseen. Hanketta on esitelty kolmessa eri tilaisuudessa, joissa etenkin vesihuollon kehittämispäivän osanottajat olivat hankkeen ydinkohderyhmää. Lisäksi hankkeen tuloksia esiteltiin Lounais-Suomen vesihuoltopäivillä 16.11.2016 Raumalla. Tilaisuus kokosi yhteen 130 kunnallisten puhdistamoiden ja vesihuoltoalan osaajaa, ja oli tehokas tapa levittää hankkeen tuloksia kohderyhmälle.

- Tiedote hankkeen käynnistymisestä 29.1.2015, www.biovakka.fi, Ajankohtaista -osio
- Uusiouutiset 8/15, s. 22, "Jäteveden typpi kiertää pian maatalouteen ja savukaasupesuun"
- Hankkeen esittely, Maatalousmaantieteen kurssi 24.9.2015, Turun yliopisto sekä tutustumiskierros Turun biokaasulaitoksella
- Hankkeen esittely, Yhdyskuntien vesihuollon kehittämispäivä 6.10.2015, SYKE, Helsinki
- Tiedote hankkeen tuloksista 13.9.2016 tiedotusvälineille sekä Gasum Oy:n internetsivuilla, facebook- ja twitter -tileillä.
<https://www.gasum.fi/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2016/biokaasulaitoksen-jatevesista-tyypea-talteen-500-kiloa-paivassa/>
- STT info 13.9.2016, "Biokaasulaitoksen jätevesistä tyypeä talteen 500 kiloa päivässä"
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/biokaasulaitoksen-jatevesista-tyypea-talteen-500-kiloa-paivassa?publisherId=1889&releaseId=51131110>
- Uusiouutiset 13.9.2016, "Jätevedestä epäorgaanista typpilannoitetta"
<http://www.uusiouutiset.fi/tag/kiertotyppi/>
- CLC Climate Leadership Council -yhdistys, internetsivut 14.9.2016, "Biokaasulaitoksen jätevesistä tyypeä talteen 500 kg päivässä"
<http://clc.fi/2016/09/biokaasulaitoksen-jatevesista-tyypea-talteen-500-kiloa-paivassa/>
- Kemia-lehti 22.9.2016, Uutiskirje 11/2016, "Jätevedestä epäorgaanista typpilannoitetta"
http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/02/uutisk_1116.pdf
- Gasumin sidosryhmälehti Gasetti 12.10.2016, "Tyypen talteenotto biokaasulaitoksilla kehittyy"
<http://gasetti.fi/artikkeli/tyypen-talteenotto-biokaasulaitoksilla-kehittyy>
- Hankkeen tulosten esittely, Lounais-Suomen vesihuoltopäivät 16.11.2016, Rauma



Hankkeesta ja typen kierrätyksestä tiedotettiin hankkeen nettisivustolla <http://kiertotyyppi.biovakka.fi>. Nettisivujen vierailuseurannan mukaan sivuilla vierailtiin 2015 vuonna 66 – 348 kertaa kuukaudessa, josta eri käyttäjiä oli 56 – 280. Iso osa kävijöistä poistui sivuilta melko välittömästi, mutta toisaalta 18,1 % myös palasi sivuille uudelleen. Vuonna 2016 sivustolla vierailtiin yhteensä noin 1500 kertaa, ja eri käyttäjiä oli 1200. Kävijämäärässä näkyy selkeä kasvu loppuvuonna hankkeen tulosten julkistamisen jälkeen.

Hankkeen viestintä toteutui pääosin suunnitellun mukaisesti, ja tiedonvälityskanavia niin hankkeesta tiedottamiseen kuin hankkeen tulosten levittämiseen käytettiin monipuolisesti. Biovakan omistajavaihdoksen myötä hankkeen ja tulosten tiedottamisessa oli loppuvaiheessa voimavarana myös Gasum Oy:n viestintäosasto sekä yhtiön internetsivut, sidosryhmälehti ja sosiaalisen median kanavat. Hankkeen tulokset herättivät laajasti huomiota ja kiinnostusta, ja tiedotteen pohjalta laadittiin useita lehti- ja internetjulkaisuja. Onnistunut viestintä näkyi myös seminaarin puhujapyyntöinä ja lannoite- ja kiertotalousalojen toimijoiden yhteydenottoina. Hankkeen tiedotuksen myötä käynnistyi myös yhteistyöneuvotteluita typpiveden hyödyntämiseksi perinteisessä lannoiteteollisuudessa.

7. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

Typpiveden kuljetuksessa ja varastoinnissa sekä käytössä kasvinravinteena on huomioitava tuotteen typen haihtumispotentiaali, mikä on merkittävä. Biokaasulaitoksella tuote varastoidaan umpisäiliöissä, eikä hävikkiä siten käytännössä pääse tapahtumaan. Tiloilla typpivesi on syytä varastoida katetuissa varastosäiliöissä lannan seassa. Typpivesi olisi hyvä myös saada varastoon lantäsäiliön pohjalle lantakerroksen alle.

Hankkeen perusteella strippausjärjestelmien kehittämistä ja käyttöönottoa on järkevää edistää. Lopputuotteena syntyvä typpivesi on käytännössä puhdasta typpiravinnetta. PAH-yhdisteiden siirtyminen typpiveteen on hyvin vähäistä, ja vertailuna todettakoon, että väkilannoitteista on myös analyysien perusteella havaittu löytyvän PAH-yhdisteitä (Marttinen ym. 2014).

Typpivesi edustaa yhtä esimerkkiä biotalouden laajoista mahdollisuuksista tuottaa uudenlaisia ravinnetuotteita. Typpiveden kohdalla jouduttiin arvioimaan tuotteen soveltuvuutta kansallisen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelon eri tyyppinimien vaatimuksiin. Tässä tapauksessa tuote täytti tyyppinimen 1A1 kriteerit siten, että tarvittaessa typpipitoisuutta korotetaan hieman esim. ureatypellä. Soveltuvan tyyppinimen löytyminen mahdollisti typpivesi -lannoitevalmisteen tuotannon käynnistämisen, ja tuotetta tullaan jatkossa toimittamaan maataloille. Biotalous kierrätysravinnetuotteet eivät välttämättä kuitenkaan aina suoraan sovellu tyyppinimiluettelon tyyppinimien alle, mikä voi olla ongelma kierrätysravinteiden hyödyntämisessä lannoitevalmisteenä maatalouskäyttöön.

Tuotteelle tehdyt analyysitulokset osoittivat että ammoniumvesi ei sisällä haittayhdisteitä käytettäessä teollisuudessa savukaasujen puhdistukseen. Kuitenkin jotta tuote soveltuisi tähän käyttötarkoitukseen, tulisi typpipitoisuutta edelleen nostaa esimerkiksi kalvotekniikalla logistiikan ja jäätymisongelman ratkaisemiseksi.

8. Talousraportti

KiertoTyppi -hankkeen kokonaisbudjetti oli noin 273 000 €. Koelaitteiston asennuskustannusten ja toteuttajan omarahoituksen nousun vuoksi kustannusarvio toteutui 132 %:sti. Gasum Biovakka Oy:n omarahoitusosuutta



ei kokonaisuudessaan esitetty hankkeen alkuperäisessä kustannusarviossa. Kustannusarvion ylittävät kustannukset rahoitettiin siis hanketoteuttajan omarahoituksena, mikä alentaa huomattavasti YM:n rahoitusosuutta hankkeesta. Kaikki kustannukset haluttiin kuitenkin pitää raportoinnissa mukana, että hankkeen kokonaiskustannukset näkyvät toteuman mukaisina kaikille osapuolille. YM:n toteutunut rahoitusosuus oli 48,3 % hankkeen kokonaiskustannuksista.

KiertoTyppi -hanke oli kustannusten kertymisen suhteen varsin alkupainotteinen johtuen laitteiston siirtoon ja asennukseen liittyvistä töistä ja tarvikkeiden hankinnasta, joissa jouduttiin käyttämään paljon ulkopuolista palvelua. Ulkopuolisten palveluiden määrä ylitti laitteiston siirron ja asennuksen osalta kustannusarvion jo ensimmäisen raportointikauden aikana, jonka jälkeen tarvittavat palvelut on rahoitettu hankkeen toteuttajan omarahoituksena. Suurin osa tarvikkeista (mm. putket ja pumput) ja tarvittavasta instrumentoinnista (mm. mittalaitteet) hankittiin ensimmäisen kauden aikana, ja loput toisella raportointikaudella (mm. loput sähkö- ja automaatiotarvikkeet, venttiilit, testiajojen letkut ja liittimet), josta kokonaiskustannuksia kertyi 37 842 € (YM:n osuus 1 618 €). 2016 vuoden osalta hankkeen kustannukset muodostuivat työajasta ja laboratorioanalytiikasta. Laitteiston muita käyttökustannuksia, kuten energiankulutusta tai kemikaalikustannuksia ei laskettu hankkeen kustannuksiksi. Merkittävimmät kululajit jotka alittivat budjetoidun olivat analyysipalvelut sekä henkilöstökulut hankkeen partnerina toimineen Ekokem Oyj:n osalta.

9. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

KiertoTyppi -hankkeessa saatiin käytännön biokaasulaitoskohteessa välittömiä tuloksia jätevesitypen talteenottamisessa ja kierrätystyppituotteiden hyödynnettävyydessä. Hankkeen tulokset ovat laajasti hyödynnettävissä lukuisten toimijoiden käyttöön. Hanke osoittaa, että kokeiluun, optimointiin ja teknologian testaamiseen suunnattua kehittämistoimintaa on järkevää toteuttaa täyden mittakaavan toimintaympäristössä, missä pystytään havainnoimaan ja huomioimaan monia käytännössä eteen tulevia tekijöitä, kustannuksia ja reuna-ehtoja.

Hanke osoitti, että suuntaamalla hankekehitysrahoitusta järkeviin lyhyellä aikajänteellä käyttöön otettavien teknologioiden testaamiseen, voidaan biotalouden alalta saada uudenlaisia jalosteita ja tuotteita nopeasti hyötykäyttöön, ratkaista samalla useiden toimialojen haasteita, ja parantaa ympäristön tilaa.

10. Johtopäätökset

- Yhdyskuntien puhdistamolieteperäisistä jätevesistä on mahdollista tuottaa epäorgaaniseksi lannoitteeksi luokiteltavaa typpivettä
- Tutkitulla strippausmenetelmällä on oikein mitoitettuna mahdollista alentaa puhdistamolieteperäisen rejektiveden jätevedenpuhdistamolle aiheutuvaa typpikuormitusta 50 %
- Hankkeessa tutkitun kokoluokan järjestelmällä on mahdollista ottaa tyypeä talteen 500 kg/päivä
- Orgaaniset haitta-aineet ja lääkeaineet eivät pääosin siirry typpiveteen, lukuun ottamatta helposti haihtuvia PAH-yhdisteitä, joiden pitoisuudet jäävät kuitenkin hyvin alhaiselle tasolle

LIITTEET

Liite 1. Tutkittujen orgaanisten haitta-aineiden ja lääkeaineiden pitoisuudet rejektivedessä, typpivedessä ja typpiveden erottamisen jälkeen puhdistamolle päätyvässä jätevedessä.



LIITE 1. Tutkittujen orgaanisten haitta-aineiden ja lääkeaineiden pitoisuudet rejektivedessä, typpivedessä ja typpiveden erottamisen jälkeen puhdistamolle päätyvässä jätevedessä.

Yhdiste	NÄYTE 1			NÄYTE 2		
	Rejktivesi (µg/l)	Typpivesi (µg/l)	Jätevesi (µg/l)	Rejktivesi (µg/l)	Typpivesi (µg/l)	Jätevesi (µg/l)
ibuprofeeni	35	<0.25	30		0,13	
ketoprofeeni	<1.3	<0.25	<1.3		<0.050	
diklofenaakki	4,1	<0.25	3,5		1,4	
karbamatsepiini	4,2	<0.25	3,7		<0.050	
siprofloksasiini	<100	<1.0	<120		<2.0	
naftaleeni	3	6,5	0,65	0,71	8	0,36
asenaftyleeni	<0.60	<0.30	<0.10	<0.020	<0.21	<0.020
asenafteeni	0,76	4,2	0,23	0,075	0,91	0,064
fluoreeni	0,94	5,4	0,31	0,11	0,86	0,11
fenantreeni	2,4	7,8	1,6	0,47	1,1	0,49
antraseeni	0,88	2,2	0,48	0,19	0,43	0,19
fluoranteeni	2	1,5	1,7	0,42	0,18	0,46
pyreeni	2	1,4	1,8	0,47	0,17	0,51
bentso(a)antraseeni	1	<0.30	0,73	0,16	<0.010	0,18
kryseeni	0,9	<0.30	0,81	0,2	0,013	0,23
bentso(b)fluoranteeni	<0.60	<0.30	<0.70	0,073	<0.010	0,095
bentso(k)fluoranteeni	<0.60	<0.30	<0.30	0,06	<0.010	0,09
bentso(a)pyreeni	<0.60	<0.30	<0.30	0,05	<0.010	0,069
indeno(123cd)pyreeni	<0.60	<0.30	<0.30	<0.060	<0.010	<0.090
dibentso(ah)antraseeni	<0.60	<0.30	<0.30	<0.080	<0.010	<0.12
bentso(ghi)peryleeni	<0.60	<0.30	<0.30	<0.030	<0.010	<0.050
PAH, 16 yhdisteen summa	13,9	29	8,31	2,99	11,7	2,85
PBDE 47	0,056	0,03	0,09	0,3	0,0037	0,31
PBDE 99	0,038	0,01	0,061	0,23	0,0011	0,18
PBDE 100	0,0077	0,0028	0,012	0,059	0,00024	0,046
DiBDE	<0.020	<0.0050	<0.020	<0.060	<0.0020	<0.060
TriBDE	<0.020	<0.0050	<0.020	<0.060	<0.0020	<0.060
TeBDE	0,06	0,0089	0,1	0,33	0,004	0,34
PeBDE	0,048	0,0034	0,077	0,31	0,0014	0,24
HxBDE	<0.020	<0.0050	<0.020	0,063	<0.0020	0,06
HpBDE	<0.040	<0.010	<0.040	<0.10	<0.0040	<0.040
OcBDE	<0.040	<0.010	<0.040	1	<0.0040	0,68
NonaBDE	<0.10	<0.025	<0.10	0,88	<0.050	0,81
DeBDE	<0.10	<0.050	0,11	1,3	<0.020	1,4
PFBA	<1.0				<0.010	
PFPeA	<1.0	<0.10	<1.0		<0.010	
PFHxA	<1.0	<0.10	0,17		0,014	
PFHpA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFOS	<1.0	<0.10	0,16		<0.010	
PFNA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFDA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFUnDA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFDoDA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFBS	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFHxS	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFOA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFDS	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
PFOSA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
FTS 6:2	<1.0	<0.10	0,1		<0.010	
PF-3,7-DMOA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	
HPFHpA	<1.0	<0.10	<0.10		<0.010	