

Hanke

Lietteen ja lannan jalostaminen lannoitteiksi ja energiatuotteiksi sekä näiden lannoitteiden hyötykäyttö metsien lannoituksessa

Hannu Ilvesniemi¹, Teemu Tikkanen¹ ja Matias Häyrynen¹ Petri Kilpeläinen ja Hannu Kiviranta²

¹Metsäntutkimuslaitos ²THL (Kuopio)

LOPPURAPORTTI

Lietteen ja lannan jalostaminen lannoitteiksi ja energiatuotteiksi sekä näiden lannoitteiden hyötykäyttö metsien lannoituksessa

Hannu Ilvesniemi, Teemu Tikkanen ja Matias Häyrynen/ Metla sekä Hannu Kiviranta/THL (Kuopio)

1. Tiivistelmä

Tämän hanke koostui kahdesta osakokonaisuudesta. Perustetuissa maastokokeissa tutkittiin saatavilla olevien lietejalosteiden soveltuvuutta käytettäväksi metsien lannoitteena sekä lannoitteiden käytöstä mahdollisesti aiheutuvia ympäristöriskejä. Laboratoriokokeissa tutkittiin, miten kuumavesiuuttoa voitaisiin hyödyntää lannan ja lietteen jalostuksessa lannoitteiksi sekä energiatuotteiksi.

Maastokokeiden puusto mitattiin ja kokeilta kerättiin maa ja kasvinäytteitä, joista analysoitiin käytetyn lannoitteen mukana tulleiden erilaisten kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia maassa ja kasveissa. Jatkoseurantaa varten kokeet liitettiin osaksi Metsäntutkimuslaitoksen pysyvien kokeiden koesarjaa.

Uuttokokeissa havaittiin, että lannassa ja lietteessä oleva hemiselluloosa erottuu paineistetun kuumavesiuuton huonommin kuin sahanpurusta. Sahanpurua uutettaessa uuttoliuoksen happamuus on pH yksikköinä ilmoitettuna noin 3, liete ja lantakuumavesiuutteiden pH oli selvästi tätä korkeampi. Liuoksen korkea pH voi olla yksi syy alhaiseen saantoon. Tutkittaessa kuumavesiuuton vaikutusta typen ja fosforin erottamiseen nestefaasiin, havaittiin että varsinkin fosforin saanto jäi usein alhaiseksi ja pelkkä lietteessä ja lannassa olevan nesteen erottaminen puristamalla antoi melkein yhtä hyvän saannon kuin kuumavesiuutto. Emäsuutot olivat kuumavesiuuttoa tehokkaampi tapa uuttaa ravinteita ja orgaanisia yhdisteitä nestefaasiin. Uuttojen käytännön toteutuksessa ilmeni lannan ja lietteen suuresta vesimäärästä ja kiintoaineksen hienojakoisuudesta johtuvia teknisiä ongelmia. Emäksissä olosuhteissa tehdyt uutot myös rasittivat uuttolaitteistoja.

Puhdistamoliete sisälsi selvästi enemmän kuin sian- ja naudan lanta kaikkia tässä työssä tutkittuja, pysyviksi orgaanisiksi haitta-aineiksi (POP) luokiteltuja yhdisteitä, eron ollessa 10 tai 100-kertainen. Sian ja naudan lietelannasta tehdyn maanparannusaineen käyttö elintarviketuotannossa olevien kohteiden lannoituksessa on siten selkeästi parempi ratkaisu kuin jätevedenpuhdistamojen lietteestä tehdyn maanparannusaineen käyttö. Jätevesilietteen ja siitä valmistetun maanparannusrakeen haitta-ainepitoisuudet vastasivat melko hyvin toisiaan. Maanäytteistä mitatut pitoisuudet olivat alhaisia ja kaukana säädetyistä ohje-arvoista. Kasvillisuuteen haitta-aineet eivät olleet kertyneet. Puolukan- ja mustikanvarvuista ja sienistä mitatut pitoisuudet olivat usein joko määritysrajan alle tai ylittivät määritysrajan vain täpärästi. Käytetyillä uuttolämpötiloilla ei ollut merkittävää vaikutusta haitta-aineiden uuttumiseen lietemateriaalista.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Jäteveden puhdistuksen yhteydessä ja maataloudessa syntyy lietteitä, joiden hyötykäyttömahdollisuuksia tulisi edelleen lisätä. Jos käsiteltyjä lietteitä voidaan käyttää myös metsien lannoituksessa, taloudellisesti järkevän kuljetusmatkan päässä olevia käyttökohteita voidaan löytää nykyistä enemmän. Jakamalla liete tai lanta isommalle maapinta-alalle voidaan vähentää pelloille paikallisesti tulevaa lannoitekuormitusta ja sen seurauksena kasvavaa huuhtoutumisriskiä, samalla kun lisätään puuston kasvua ja metsien hiilinielua.

Aikaisempien lannoituskokeiden perusteella tiedetään, että typpilannoitus on tärkein puuston kasvua lisäävä lannoitustapa. Tässä tutkimushankkeessa täydennettiin käynnissä olevaa typpi ja tuhkalannoituskoesarjaa koeruuduilla, joissa typpilannoitteena käytettiin keinolannoitteen sijaan lietteestä jalostettua typpilannoitetta. Lannoitevaikutuksen lisäksi arvioitiin lietteen mukana kohteille mahdollisesti kulkeutuvien haitallisten yhdisteiden merkitystä lannoitteen turvallisen käytön kannalta. Näiden pitoisuuksia mitattiin lannoitteesta, lannoitetusta metsämaasta, marjoista ja sienistä.

Biomassojen biojalostamokäytössä käytettävien biomassojen fraktiointi pääkomponentteihinsa eli hemiselluloosaan, selluloosaan, ligniiniin ja uuteaineisiin on yksi mahdollinen lähtökohta uusien tuotteiden jalostukselle. Metsäntutkimuslaitoksella kehitetty paineistettu kuumavesiuutto yhdistettynä emäsuuttoon tarjoaa biomassojen esikäsitteilyvaihtoehdon, jonka soveltuvuutta lannan ja lietteiden jatkojalostukseen selvitetään tässä hankkeessa. Työn tavoitteena on tutkia, voidaanko näitä esikäsitteilymenetelmiä hyödyntämällä tuottaa lannoitetuotteita ja polttoaineita.

3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Hankkeen osapuolet

Metsäntutkimuslaitos METLA (Jokiniemenkuja 1, 01370 Vantaa, Y-tunnus 0124577-1) Metsäntutkimuslaitos vastasi hankkeen suunnittelusta, näytteenotosta, lietteelle ja lannalle tehdyistä kuumavesiuutoista, hemiselluloosa, selluloosa ja ligniinianalytiikasta sekä haitta-ainenäytteiden toimituksesta Terveyden ja hyvinvoinnin laitokselle.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL, Ympäristöterveyden osasto (PL 95, 70701 Kuopio, Y-tunnus 2229500-6) mittasi jätevedenpuhdistamolietteen ja lannan sisältämiä, haitallisia yhdisteitä lietteestä, siitä paineistetulla kuumavesiuutolla jalostetuista maaparannusaineista, maanäytteistä, sekä kasveista ja sienistä.

Menetelmät

Lannoituskokeet

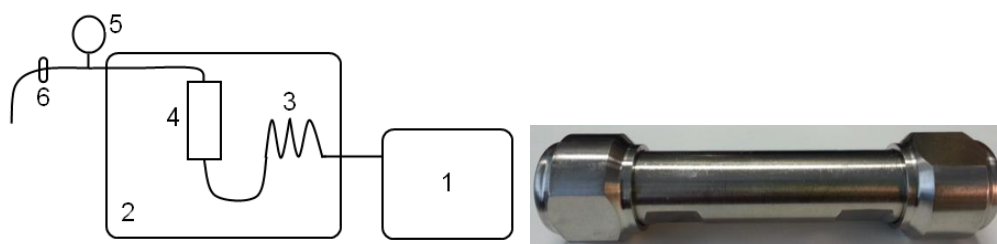
Metsäntutkimuslaitoksessa on aikaisemmin (v. 2010) perustettu koesarja, jossa tutkitaan typpi- ja tuhkalannoituksen yhteisvaikutuksia metsien kasvuun. Tätä jo perustettua koesarjaa täydennettiin viidellä kohteella kahdella koeruudulla, joissa typpilannoitteena käytettiin keinolannoitteen sijasta lietteestä ja ruuantähteistä jalostettua pelletöytä typpilannoitetta (Lakeuden Etappi). Kohteiden puusto mitattiin kokeiden perustamisen yhteydessä. Haitta-aineiden kertymistä ja pysyvyyttä käsittelevien mittausten tekemistä varten kohteilta kerättiin maanäytteitä, maastossa kesän yli olleita lannoiterakeita, sekä puolukan ja mustikan varpuja ja sieniä.

Uuttokokeet

Uuttokokeita tehtiin naudan ja sian lannalle sekä jäteveden puhdistusprosessissa syntyvälle lietteelle.

Näytteiden kuiva-ainepitoisuuden kasvattamiseksi osalle näytteistä tehtiin puristus hydraulisella puristimella (20 kN) tai näytteitä sentrifugoitii (3000 rcf, 2 min).

Uuttokokeissa käytetyn uuttolaitteiston kaavakuva on esitetty kuvassa 1. Laitteiston avulla voidaan virtausnopeutta vaihdella välillä 0 ml/min – 9,9 ml/min ja uuttolämpötilaa voidaan vaihdella välillä 20 - 250 °C. Uuttokammion tilavuus on 50 ml. Kuumavesiuutot toteutettiin joko panos- tai läpivirtausmenetelmää käyttäen. NaOH uutot tehtiin 1 M NaOH liuoksella.



1. Pumppu
2. Uuni
3. Esilämmitin
4. Uuttohylsy
5. Painemittari
6. Paineen säätöventtiili

Kuva 1. Kaaviokuva laboratoriomittakaavan uuttolaitteistosta ja valokuva uuttohylsystä.

Käytetyt uutto-olosuhteet

Uuttomenetelmä	Uutto lämpötila	Naudan lanta	Sian lanta	Puhdistamoliete
	Alkuperäinen	x	x	x
	Vain puristettu (P)	X		
	Vain sentrifugoitu (F)	X		
Panos	60, F	X		
Panos	60, P	X		
Panos	120, F	X		
Panos	120, P	X		
Panos	160, P	X		
Panos	180, F	X		
Panos	180, P	X		
Läpivirtaus	P, 160	X		
Läpivirtaus	P, 160°C	X		
Läpivirtaus	180°C	X		
Läpivirtaus	190°C	X		
Panos	25° C	X		X
Läpivirtaus	60°C			X
Läpivirtaus	160°C			X
Läpivirtaus	200°C			X
Läpivirtaus	60°C			X
Läpivirtaus	160°C			X
Panos	60°C		X	
Panos	120°C		X	
Panos	160°C		X	

Taulukko 1. Kokeissa käytetyt uutto-olosuhteet ja uutetut näytteet. Kuumalla vedellä tehdyt uutot on merkitty keltaisella pohjalla, natriumhydroksidilla tehdyt emäsuutot sinisellä.

Uuttolaitteiston tukkeutumisen ehkäisemiseksi testattiin erilaisia uuttoputkeen asetettuja esisuodattimia. Esisuodattimena kokeiltiin käsittelemätöntä ja kuumavesiuutettua sahanpurua sekä hienojakoista hiekkaa, joista tehtiin uuttokammion ulostulopäähän n. 2 cm vahvuinen kerros. Suodatinkokeet tehtiin naudan lannalle.

Uutoissa syntyneiden jakeiden analysointi:

Kiinteistä fraktioista mitattiin soveltuvin osin kuivapaino, typpipitoisuus (Leco) , fosfaattifosforipitoisuus (spektrofotometri), hiilen määrä (Leco) ja alkuainepitoisuudet (ICP) sekä hemiselluloosan (hapan metanolyysi), selluloosan (hapan hydrolyysi) ja ligniinin (Klason) määrä.

Uutteista määritettiin kuivapaino, pH, kemiallinen koostumus (ICP), DOC (Leco), fosfaattifosfori ja kokonaisfosfori, liuenneen orgaanisen hiilen määrä (DOC) ja osasta näytteistä uutuneiden sokerien määrät.

Liuenneiden yhdisteiden saostamiseksi uutetta käsiteltiin rauta(III)sulfaatilla, kalsiumasetaatilla ja lentotuhkalla.

Orgaanisten haitta-aineiden analysointia varten suoritettiin jätevedenpuhdistamolietteelle uuttosarja, jossa käytetyt uuttolämpötilat olivat 60 °C, 160 °C ja 200 °C. Uuttohylsyyn jäänyt materiaali sentrifugoitiin kiintoaineen ja nesteen erottamiseksi. Erottunut nestefaasi yhdistettiin uuton aikana kerättyyn nestejakeeseen. PCDD/F-, PCB- JA PBDE-yhdisteet analysoitiin kaasukromatografisesti HP6890/Autospec Ultima korkean resoluution massaspektrometreillä käyttäen SIR-tekniikkaa ja 10 000 resoluutiota. Erotuskolonnina käytettiin DB-5 MS-kolonnia. Määritettävät PFAS-yhdisteet määritettiin käänteisfaasi-nestekromatografisesti (Dionex Ultimate 3000) kolmoiskvadrupoli- massaspektrometrillä (Thermo Finnigan TSQ Quantum Discovery Max). Bisfenoli A uutettiin näytteistä metanoliin ja analysoitiin nestekromatografi-massaspektrometrillä (LC:Dionex Ultimate 300 RS, MS/MS: Finnigan TSQ Quantum Discovery max).

4. Hankkeen tulokset

Hankkeen tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen

Pääsääntöisesti hanke pystyttiin toteuttamaan esitetyn tutkimussuunnitelman mukaisesti. Lietteiden ja lannan ominaisuuksista johtuen uutot olivat kuitenkin selvästi hankalampia toteuttaa, kuin aiemmat sahanpurulla ja muilla biomassoilla tehdyt uutot antoivat olettaa. Tämän vuoksi kokeiden toteutukseen kului 6 kk suunniteltua pidempi aika. Koska kokeissa saadut uutuneiden yhdisteiden määrät olivat melko pieniä, menetelmän käyttöön oton taloudellisuutta voitiin tarkastella vain yleisellä tasolla.

Tulokset

Naudan lannan kuiva-ainepitoisuus oli 7,4 % ja sian lannan 2,1 %, puhdistamolietteiden kuiva-ainepitoisuudeksi määritettiin 27,4 %. Käsittelemättömän naudun lannan hiilipitoisuus oli 45,7 % kuiva-aineesta, typpeä materiaali sisälsi 2,33 %. Sian lannan typpipitoisuus oli 3,67 % ja siinä oli hiiltä 47,4 % kuiva-aineesta. Vastaavat arvot jäteveden puhdistamolietteelle ovat 28,7 % hiiltä ja 3,55 % typpeä kuiva-aineesta. Kokonaisfosforin määräksi

käsittlemättömissä näytteissä määritettiin puhdistamolietteessä 29,2 g/kg, naudan lannassa 7,7 g/kg ja sian lannassa 27,7 g/kg.

Naudan lannassa on hemiselluloosaa ja selluloosaa sekä tuhkaa noin 15 % ja ligniiniä hieman yli 30 %. Sian lannassa olevista yhdisteistä yli puolet olivat sellaisia, jotka eivät olleet mitään näistä kasvimateriaalille tyypillisten orgaanisten yhdisteiden kolmesta pääkomponentista. Puhdistamolietteen tuhkapitoisuus oli yli 40 % ja myös lietteessä valtaosa orgaanisista yhdisteistä oli sellaisia, jotka eivät tulleet määritetyksi ligniiniksi, selluloosaksi tai hemiselluloosaksi.

Naudan lannan puristuksen jälkeen kiinteän osan kuiva-ainepitoisuus oli noin 31 %. Puristettaessa materiaalista muodostui seuralle tiivis tulppa, joka tietyn paksuuden saavutettuaan esti nesteen läpäisyn. Mahdollisissa jatkotöissä kannattaa tutkia eri tyyppisten suodatuslaitteistojen ominaisuuksia, niin että suodattimen tukkeutuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Sentrifugoinnissa (3000 rcf, 2 min) syntyneen kiinteän jakeen kuiva-ainepitoisuus oli noin 15 %.

Uutettavien lanta ja lietemateriaalien käyttäytyminen uuton aikana erosi merkittävästi aiemmin testatuista puupohjaisista materiaaleista. Useissa uutoissa paine-ero pumpun ja venttiilin välillä muodostui huomattavaksi, ollen korkeimmillaan jopa 150 baaria. Uutettavan materiaalin aiheuttama suuri painehäviö aiheutti sen, että uuttohylsyn koko tilavuutta ei voitu kaikissa tilanteissa hyödyntää tai läpivirtausmenetelmällä tehtyä uuttoja ei voitu viedä uuttokammion tukkeutumisen takia suunnitellun uuttojakson loppuun.

Paineen nousu aiheutui todennäköisesti uutettavissa materiaaleissa olleista pienistä partikkeleista, jotka pakkaantuivat uuttokammion ulostulopäähän tiiviiksi tulpaksi ja estivät veden virtauksen. Tähän viittaa se, että uutettaessa puristettua naudan lantaa, josta osa pienimmistä partikkeleista poistuu puristuksen aikana, tukkeutumista ilmenee vasta suuremmilla uutetun kuiva-aineen määrillä.

Tukkeutumisongelman ratkaisemiseksi uuttolaitteistoa kehitettiin niin, että uuttohylsyn poistopäähän tehtiin kuusen sahanpurusta tai hiekasta esisuodatin ennen uuttohylsyn päässä olevaa suodatinta. Naudan lannalle jo 5 grammaa uutettua sahanpurua vähensi tukkeutumista merkittävästi. Puhdistamolietteen kohdalla uutetun puru käyttö esisuodattimena ei onnistunut yhtä hyvin.

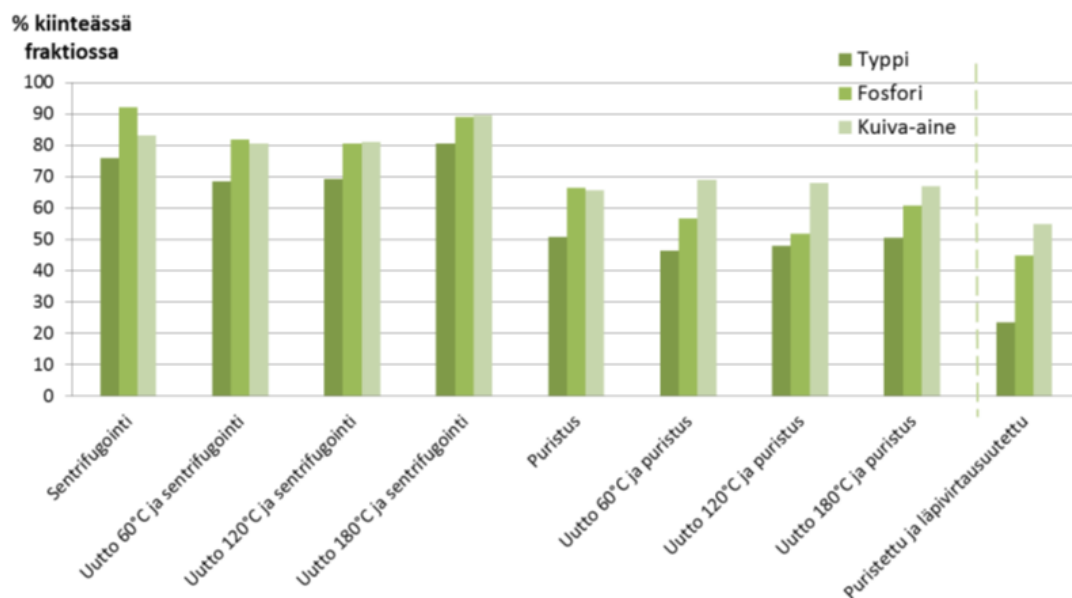
Naudan lanta

Kuvasta 2 nähdään, että uuttolämpötilalla ei juuri ollut merkitystä ravinteiden uuttumiseen. Uuton ja sentrifugoinnin yhdistelmällä uuttui 10–20 % lähtömateriaalin kuiva-aineesta sekä fosforista. Tyydestä uuttui 20–30% lämpötilasta riippuen. Pelkälle sentrifugoinnille arvot ovat samalla tasolla. Suorittamalla uuton jälkeinen nesteen poisto puristuksen avulla saatiin nestejakeeseen n. 35 % kuiva-aineesta, 50 % tyydestä ja 35 % fosforista. Tulos on samalla tasolla, vaikka tehtiin vain pelkkä puristus.

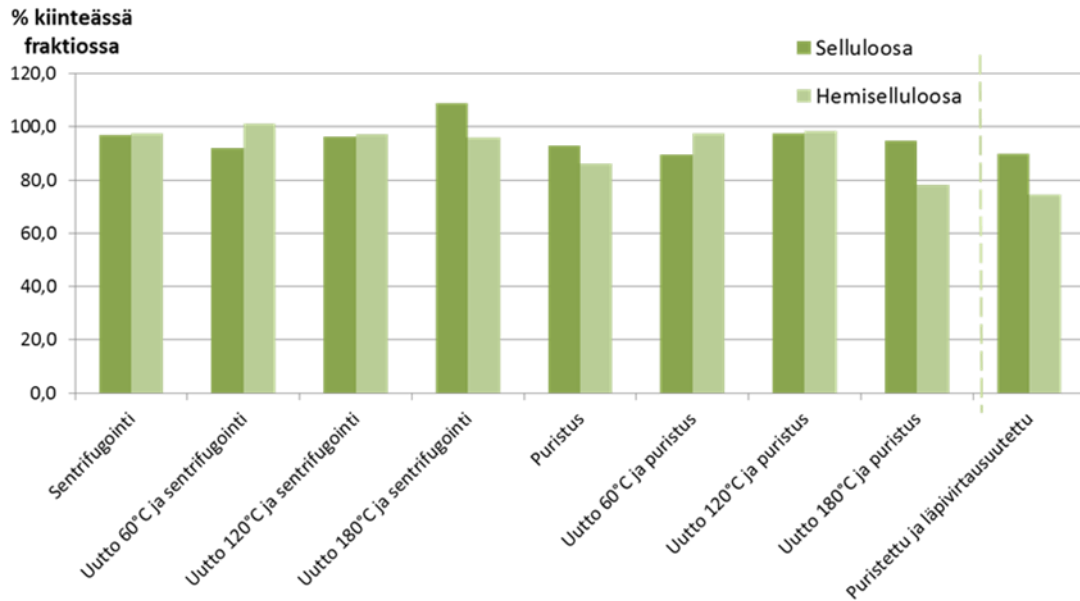
Uuttolämpötilalla ei ollut suurta vaikutusta myöskään kaliumin ja magnesiumin uutumiseen. Kalium on hyvin liukoinen yhdiste ja pelkän puristuksen jälkeen kiinteään osaan jää vain noin 10 % lähtömateriaalin kaliumista. Magnesiumia uutui vastaava määrä kuin fosforia.

Suorittamalla nesteen poisto ennen uuttua saatiin lähtömateriaalin tyypestä uutettua lähes 80 %, fosforista 55 %, magnesiumista 60 % ja kaliumista käytännössä kaikki. Alkuperäisestä kuiva-aineesta uutui mainituissa oloissa 45 %.

Uuttojen seurauksena selluloosaa ja hemiselluloosaa uutui vain vähän. Hemiselluloosan osalta havaitaan uutumista vasta 180 °C lämpötilassa, mutta tässäkin tapauksessa vaaditaan sentrifugointia tehokkaampi nesteen poisto, jotta vaikutus tulee esille (Kuva 3). Tässä tapauksessa oli uutunut noin 20 % lähtömateriaalin hemiselluloosasta. Tulos on erilainen kuin biomassoja uutettaessa, sillä 180 °C:n lämpötiloissa saadaan esim. puumateriaalista uutettua valtaosa sen sisältämästä hemiselluloosasta.



Kuva 2. Erilaisten uutto-olosuhteiden jälkeen naudun lannan kiintoaineesta mitatut typpi, fosfori ja kuiva-ainemäärät ilmaistuna suhteellisina osuuksina lähtötilanteen vastaavista määristä.



Kuva 3. Hemiselluloosan ja selluloosan määrät naudan lannassa uuton jälkeen ilmaistuna suhteellisina osuuksina uuttamattoman lannan määrästä.

Naudan lannalle läpivirtausmenetelmällä tehdyissä emäsuutoissa käytettiin 180°C:n ja 190°C:n uutolämpötiloja, lisäksi tehtiin panos-uutto huoneenlämmössä. Liuottimena käytettiin 1 M natriumhydroksidia. Emäksiseksi tehty uuttoliuos uuttaa naudan lannasta kiintoainesta ja ravinteita selvästi tehokkaammin kuin pelkkä kuuma vesi. Huoneen lämmössä tehty emäsuutto uutti lähtöaineen typen määrästä melkein 70 % ja paineistettu kuuma emäsuutto yli 90 %. Fosforin erottamisessa emäsuutto ei ollut yhtä tehokas, uuttuneen fosforin osuus alkuperäisestä fosforin määrästä oli 180 °C lämpötilassa noin 30 % ja 190 °C lämpötilassa noin 40 %.

Testattaessa liuennun fosforin saostamista uuttoliuksesta rauta(III)sulfaatilla, kalsiumasetaatilla ja tuhalla havaittiin että melkein kaikki liuennut fosfaatti saadaan saostettua.

Yhteenvedon naudanlannan uuttojen osalta voidaan todeta, että naudanlannassa jäljellä olevat hemiselluloosat ovat huomattavasti hankalammin erotettavissa paineistetun kuumavesiuuton avulla biomassoihin verrattuna. Uuttoliuoksen korkeana pysyvä pH voi olla yksi syy alhaiseen saantoon. Myöskään ravinnekomponenttien osalta eivät nyt toteutetut kuumavesiuutot ole kovin tehokkaita ja varsinkin fosforin saanto jää alhaiseksi. Lisäksi uuttojen käytännön toteutuksessa ilmeni lukuisia ongelmia, jotka vaativat laitteiston säätöä ja puhdistusta ja hankaloittavat menetelmän mahdollista käyttöön otoa.

Puhdistamoliete

Jätevedenpuhdistamolietteestä uuttuneen fosforin määrä jää huomattavasti naudanlietettä alhaisemmaksi. 160 °C:n lämpötilassa 60 minuutin aikana uuttuu vain 0,6 % lähtömateriaalin fosforista. Uuttolämpötilalla ei ollut vaikutusta uuttuvan fosforin määrään, sillä 200 °C:n lämpötilassa uuttunut määrä on samalla tasolla. Natriumhydroksidin käyttäminen tehostaa uuttoja selvästi ja uuttuneen fosforin määrä kasvaa merkittävästi pelkällä vedellä tehtyyn uuttoon verrattuna. Lämpötilalla ei ollut suurta vaikutusta fosforin uuttumiseen myöskään kun liuottimena on natriumhydroksidi. Emäsluokseen uuttunut määrä oli 23,3 % 60 °C:ssa ja 25,7 % 160 °C:ssa.

Orgaanisen materiaalin uuttumiseen puhdistamolietteestä lämpötilalla näyttää olevan pieni vaikutus. Uuttuneen hiilen määrä kasvoi 2,9 %:sta n. 10 % prosenttiin lämpötilan kasvaessa 160 °C:sta 200 °C:een. Uuttoajan pidentäminen 60 minuutista 120 minuuttiin nosti uuttuneen hiilen määrän 11,6 prosentista 23,9 prosenttiin.

Natriumhydroksidin käyttö tehosti orgaanisen hiilen uuttumista. 60 °C:n lämpötilassa uuttui 7,2 % lähtömateriaalin hiilestä ja 160 °C:n lämpötilassa 13,1 %. Kun uute ja sentrifugoitu nestejäte lasketaan yhteen siirtyy alkuperäisestä hiilestä nestefaasiin 60 °C:n lämpötilassa 24,0 % ja 160 °C:n lämpötilassa 37,8 %. Tyypeä puhdistamolietteestä poistui 160 ja 200 °C kuumavesiuutoissa 17 ja 39 %, ja 60 ja 160 °C NaOH uutoissa 42 ja 57 %.

Sian lanta

Sian lannalle tehtiin kuumavesiuutot 60, 120 ja 160 °C lämpötiloissa. 60 ja 120 °C lämpötiloissa tehdyt uutot nostavat jäljelle jäävän kiintoaineen typpipitoisuutta jonkin verran verrattaessa pitoisuutta alkuperäisen lannan pitoisuuteen. 160 °C lämpötilassa tehty uutto alensi hieman jäljelle jääneen kiintoaineen typpipitoisuutta. Sentrifugoinnissa (5 min/1000 rpm) syntyvän nestefaasin kuiva-aineen typpipitoisuus oli yli 10 %. Kuumavesiuutot eivät muuttaneet sian lannan fosforipitoisuutta. Tästä voidaan päätellä, että ravinteita uuttui nestefaasiin suunnilleen samassa suhteessa kuin biomassan orgaanisia komponentteja.

Lietteiden haitta-aineet ja niiden kulkeutuminen kasvillisuuteen

Lietteiden osalta voidaan todeta, että yhdyskuntajätevesipuhdistamon liete sisälsi selvästi enemmän kaikkia tutkittuja haitta-aineita verrattuna sian- ja naudan lietelantaan eron ollessa 10 tai 100 kertainen. Siten yhdyskuntien tuottama taakka tutkittujen yhdisteiden osalta on selvästi korkeampi, kuin tuotantoeläintilojen.

Yhdyskuntien jätevesien lietteestä valmistettu maanparannusrakeen haitta-ainepitoisuudet vastasivat varsinaisesta lietteestä mitattuja pitoisuuksia, vaikka aivan suoraan verrannollisia pitoisuudet eivät olleetkaan. Koska lietemateriaali on epähomogeenista, eri aikoina otetut näytteet lietteestä ja maanparannusrakeesta vaihtelevat pitoisuuksiltaan, mutta suuruusluokat ovat kuitenkin samat.

Viideltä eri koealueelta mitatuissa maanäytteiden haitta-ainepitoisuuksissa ei havaittu merkittäviä eroja, joten koealueiden sijainnilla ja kasvupaikan viljavuudella tai puustolla ei näytä olleen suurta vaikutusta haitta-aineiden pitoisuuksiin.

Metsästä kerätyissä maanäytteissä vain BPA-yhdisteen suhteellinen osuus oli laskenut suhteessa maanparannusrakeen alkuperäisiin määriin. Tämän voi olettaa johtuvan siitä, että BPA on tutkituista yhdisteistä kaikkein vesiliukoisin ja täten se kulkeutuu maaperässä muita yhdisteryhmiä nopeammin. Ainoastaan PCDD/F- ja PCB-yhdisteille on annettu ohje-arvot maanäytteelle. Tässä tutkimuksessa mitatut pitoisuudet maanäytteissä ovat kaukana säädetyistä ohje-arvoista, ero oli noin 50-kertainen.

Puolukan- ja mustikanvarvuista mitatut pitoisuudet jäivät usein joko määritysrajan alle tai ylittivät määritysrajan vain täpärästi. Sama tulos saatiin myös sienien osalta. Voidaankin todeta, että kokeissa käytetyillä lannoitemäärillä käsitellyillä kohteilla tutkitut haitalliset yhdisteet eivät olleet kertyneet tutkittavina olleisiin kasvi- tai sienilajeihin.

Kaikki kuumavesikäsitteilyt näyttäisivät alentavan lietteestä uuton jälkeen mitattujen haitta-aineiden pitoisuuksia. Koska tulokset ilmoitetaan tuorepainoa kohden, mahdolliset erot näytteiden kuivapaino-osuudessa voivat kuitenkin vaikuttaa erojen merkittävyyteen. Uutetuista näytteistä mitatut haitta-ainepitoisuudet eivät vaihdelleet merkittävästi eri kuumavesiuuttojen välillä, joten käytetyillä uutolämpötiloilla ei ollut vaikutusta haitta-aineiden uuttumiseen lietemateriaalista.

5. Hankkeen vaikuttavuus ja vaikutukset

Hankkeen tuottamien tulosten perusteella voitiin päätellä, että lietteelle tai lannalle tehdyillä paineistetuilla kuumavesiuutoilla ei saavutettu halutun kaltaista fosforin erottumista nestefaasiin, myös hemiselluloosan saannot olivat alhaisia. Uutot olivat selvästi tehokkaampia, jos uuttoliuos oli tehty emäksiseksi. Lannan kuiva-aine pitoisuuden kasvattaminen ennen uuttoa ja uuttoliuoksen poistaminen uuton jälkeen puristamalla parantavat saantoja. Ilman tällaista esikäsitteilyä saannot jäävät alhaisiksi, ja kuumentamista vaativat nestemäärät tulevat hyvin suuriksi. Koska veden lämmittämiseen käytettävä energia on tässä työssä käytetyn menetelmän ylivoimaisesti suurin yksittäinen kustannuserä, käytettävän veden määrää täytyy pyrkiä minimoimaan ja lämmön talteenotosta huolehtimaan. Liuosfaasiin uutettu fosfori voitiin saostaa tehokkaasti

jätevedenpuhdistuksessa käytetyillä kemikaaleilla, myös tuhka toimi tehokkaana saostimena.

Koska kuumavesiuutossa tarvittavat laitteistot täytyy suunnitella ja rakentaa paineastialain mukaiset ehdot täyttäväksi, ovat tällaiset laitteistot melko kalliita. Koska kuumalla vedellä tehdyllä uuttamisella saadut vaikutukset hemiselluloosan, selluloosan, ravinteiden ja haitta-aineiden erottamisessa olivat melko pienet, näyttäisi siltä, että pelkästään puristamalla tehty lannan tai lietteen käsittely kiinteän ja nestemäisen jakeen erottamisessa olisi taloudellisesti järkevintä. Jo pelkkä puristus mahdollistaa kiinteän ja nestemäisen jakeen käyttökohteiden valinnan niin, että ravinteiden huuhtoutumisriskiä voidaan oikealla kohdevalinnalla vähentää, ja niin haluttaessa saostaa veteen liuennut fosfori kiinteään olomuotoon. Jos näytettä ei kuumenneta, lannan ja lietteen hygienisointia ei tällöin kuitenkaan saavuteta.

Mikäli paineistettua kuumavesiuuttoa ja siihen liitettyä emäsuuttoa kuitenkin haluttaisiin soveltaa käytännössä orgaanisten ja epäorgaanisten komponenttien erottamiseen, tulisi ennen varsinaisen tuotannollisen toiminnan aloittamista perustaa koelaitos, jonka suunnittelussa hyödynnetään tässä hankkeessa ja muissa kuumavesiuuttotutkimuksissa saavutettuja tuloksia, siten että laitos pystyisi hyödyntämään lannan ja lietteen lisäksi erilaisia muita biomassapohjaisia lähtöaineita monipuolisesti.

Teknisesti tässä työssä käytetty uuttomenetelmä on periaatteeltaan ja tekniikaltaan sellainen, että se on haluttaessa helppo monistaa, skaalata ja hyödyntää myös globaalisti*.

6. Tulosten käytettävyys ja hyödyntäminen

Tehdyt tutkimukset tukevat luonnonvarojen kestäväen käytön lisäämiseen tähtääviä pyrkimyksiä, ja niillä on siten vahva poliittinen tuki. Menetelmä on teknisesti toteuttamiskelpoinen, mutta nyt saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että alhaisista saannoista johtuen saavutetut saannot lannan ja lietteen käsittelyssä ovat alhaisia ja siksi erotettujen fraktioiden kustannukset kohoavat korkeiksi.

* Kilpeläinen, P., Hautala, S., Byman, O., Tanner, J., Korpinen, R., Lillandt, M., Pranovich, A., Kitunen, V., Willför, S., Ilvesniemi, H. (2014) Pressurized hot water flow-through extraction system scale up from laboratory to pilot scale, Green Chem., 16, 3186-3194

Hankkeessa saatuja tuloksia voitaisiin mahdollisesti seuraavaksi hyödyntää erilaisia biomassoja ja lietettä ja lantaa yhdessä käsittelevän koelaitoksen suunnittelussa, siten että erilaisista raaka-aineista koostuvien lähtöaineiden ominaisuuksien eroista ja niiden yhteiskäytöstä saatavat hyödyt pyrittäisiin ottamaan täysimääräisesti huomioon. Jos samaa fraktiointimenetelmää voidaan käyttää myös muille maa- ja metsätaloudesta saataville biomassoille kuin lannalle ja lietteelle, laiteinvestoinneille voidaan saavuttaa parempi käyttöaste ja suhteellisesti pienemmät investointikustannukset. Kuumavesiuuttolaitteistoja suunniteltaessa ja käytettäessä tulee ottaa huomioon paineastialain asettamat vaatimukset.

Hankkeessa tavoiteltiin tuloksia, joiden oletetut hyödynsaajat olisivat mm. jätevesien puhdistuksesta huolehtivat toimijat, maatalousyrittäjät sekä biojalostamoja valmistava konepajateollisuus. Eri toimijat voivat arvioida saatujen tulosten perusteella menetelmän soveltuvuutta omalla toimialallaan.

7. Talousraportti

Hanke toteutettiin esitetyn budjetin mukaisesti, mutta tutkittavan materiaalin ominaisuuksista johtuneiden suurien teknisten haasteiden takia hankkeen töiden loppuun saattaminen edellytti hankkeen toiminta-ajan jatkamista puolella vuodella. Toteutetut uuttokäsittelyt aiheuttivat joitakin laitteistovaurioita, jotka jouduttiin korvaamaan.

Hankkeen kustannuserittely on esitetty liitetiedostossa 7552- RAKI kustannuserittely 30062014.xls

8. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Hankkeen tulosten perusteella voidaan todeta, että lannan ja lietteen esikäsittelymenetelmiä edelleen kehitettäessä, puristamiseen perustavien fraktiointimenetelmien kehittämistä kiinteän ja nestefaasin erottamiseen tulisi jatkaa. Puristamalla tehtävät esikäsittelymenetelmät tulisi kytkeä koelaitosmittakaavassa toteutettavaan uuttolaitoskokonaisuuteen, joka pystyy hyödyntämään erilaisia saatavilla olevia biomassajakeita ja uutto-olosuhteiden muuntamista tuhkalla.