

## Puhdistamolietepohjaiset lannoitevalmisteet kevätiljapellolla – hygieniaindikaattorien tuloksia

Tiina Tontti<sup>1)</sup>, Helvi Heinonen-Tanski<sup>2)</sup> ja Kati Martikainen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>MTT Kasvintuotannon tutkimus, Lönnrotinkatu 3, 50100 Mikkeli, [tiina.tontti@mtt.fi](mailto:tiina.tontti@mtt.fi)

<sup>2)</sup>Itä-Suomen yliopisto, Kuopion kampus, PL 1627, 70211 Kuopio, [helvi.heinonentanski@uef.fi](mailto:helvi.heinonentanski@uef.fi),  
[kati.a.martikainen@uef.fi](mailto:kati.a.martikainen@uef.fi)

Yhdyskuntien jätevesien käsittelyssä syntyy puhdistamolietettä vuosittain noin 150 000 tonnia kuivapainona. Suuri osa puhdistamolietteistä ja muista orgaanisista materiaaleista prosessoidaan lannoitevalmisteiksi kompostoimalla, anaerobisella mädätyksellä tai kalkkikäsittelyllä. Orgaanisia lannoitevalmisteita voidaan käyttää kasvintuotannossa pitkävaikutteisina ravinnelähteinä ja niiden avulla on mahdollista parantaa maan viljavuutta ja rakennetta. Orgaanisiin jättemateriaaleihin pohjautuvien lannoitevalmisteiden turvallinen käyttö maataloudessa edellyttää tuotteiden korkeaa hygieenistä laatua.

Puhdistamolietteen mädätysjäännöksestä valmistettuja lannoitevalmisteita käytettiin ohran ja kevätevehnän lannoitteena Etelä-Savossa vuosina 2010 ja 2011. Ensimmäisen vuoden viljelykokeeseen valittiin tarkasteltavaksi neljä lietetuotetta: mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete (kuivattu liete), mädätetty ja turpeen kanssa tunnelikompostoitu puhdistamoliete (kompostoitu liete), termofiilisessä seosprosessissa mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete (kuivattu seosliete), sekä mädätetty ja termisesti pelletöity ureatäydennetty puhdistamoliete (rakeistettu liete). Vuonna 2011 tarkastelussa oli kompostoitu liete ja rakeistettu liete. Peltokokeissa käytetyistä lannoitevalmiste-eristä analysoitiin hygieniaindikaattoreina *Escherichia coli*, enterokokit ja Salmonella. Hygieniaindikaattorit määritettiin ensimmäisenä vuonna myös maasta 2 ja 4 viikkoa lannoituksen jälkeen sekä syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Toisena vuonna hygieniaindikaattorit analysoitiin vehnäkokeen lannoitevalmisteista, mutta ei peltomaasta.

Lannoitevalmisteiden hygieniaindikaattorien määrissä oli selkeitä tasoeroja lietetuotteiden välillä vuonna 2010. Pelkkä kuivatus ei riittänyt hygienisoimaan lietettä, vaan riittävän hygienisointiasteen (*E. coli* < 1000 pmy/g, ei Salmonellaa) saavuttamiseksi liete on muulla tavoin aktiivisesti käsiteltävä. Hygienisoitu termofiilisesti mädätetty jäteseos, kompostoitu liete ja rakeistettu liete olivat hygieeniseltä laadultaan selkeästi lannoitevalmistesäädösten mukaisia. Vuonna 2011 sekä kompostoitu liete että rakeistettu liete olivat hygienialtaan hyvänlaatuisia. Lannoitteiden levityksen jälkeen vuonna 2010 seurattiin kuivatun lietteen vaikutusta peltomaan hygieniaindikaattorien määriin käsittelemättömän peltomaan pitoisuuksiin verrattuna. Kuukauden kuluessa lannoitevalmisteiden levityksestä *E. colin* määrä oli kuivatulla lietteellä lannoitetussa peltomaassa 3,9–4,4 log<sub>10</sub> pmy/g ja lannoittamattomassa peltomaassa 3,5–4,0 log<sub>10</sub> pmy/g. Ohran sadonkorjuun jälkeen lannoittamattomassa maassa oli 3,8 log<sub>10</sub> pmy/g ja lannoitetussa maassa 3,5–4,2 log<sub>10</sub> pmy/g.

Puhdistamolietetuotteiden hygieeninen laatu varmistetaan tehokkaalla ja huolellisella prosessoinnilla. Termofiilinen mädätys, kompostointi tai terminen rakeistus voivat tuottaa hygienialtaan moitteettomia puhdistamolietetuotteita lannoituskäyttöön. Hyvälaatuisilla lietetuotteilla peltomaan hygieeninen laatu säilyy hyvänä.

### Asiasanat

puhdistamoliete, lannoitevalmiste, maanparannuskomposti, kuivarae, mädätysjäännös, kevätilja, hygieniaindikaattorit

## Johdanto

Yhdyskuntien jätevesien käsittelyssä syntyy puhdistamolietettä vuosittain noin 150 000 tonnia kuivapainona. Puhdistamoliete sisältää kokonaisfosforia keskimäärin noin 20 g ja kokonaistyppeä noin 30 g kilossa kuiva-ainetta (SYKE 2010). Nykyisillä jätevedenpuhdistusmenetelmillä fosfori sidotaan puhdistamolietteen erittäin tehokkaasti vaikealiukoiseen muotoon. Aiemmin ongelmana olleet puhdistamolietteen raskasmetallipitoisuudet ovat Suomessa laskeneet merkittävästi (SYKE 2010). Kiinnostus lietemateriaaleja kohtaan on maataloudessa kasvanut viime vuosina, osaltaan lannoitteiden voimakkaiden hinnanvaihtelujen vuoksi ja osaltaan lietteiden parantuneen laadun ansiosta. Suuri osa puhdistamolietteilistä ja muista orgaanisista materiaaleista prosessoidaan lannoitevalmisteiksi kompostoimalla, anaerobisella mädätyksellä tai kalkkikäsittelyllä. Orgaanisia lannoitevalmisteita voidaan käyttää kasvintuotannossa pitkävaikutteisina ravinne-lähteinä. Niiden avulla on myös mahdollista parantaa maan viljavuutta ja rakennetta (Düring & Gäth 2002). Orgaanisiin jättemateriaaleihin pohjautuvien lannoitevalmisteiden turvallinen käyttö maataloudessa edellyttää tuotteiden korkeaa laatua, etenkin jos jättemateriaali on fekaalista alkuperää (Albihn & Vinnerås 2007).

Jättemateriaaleista tuotettujen orgaanisten lannoitevalmisteiden hygieeninen laatu riippuu raaka-aineiden laadusta, prosessinhallinnasta, lämpötilasta ja käsittelyajan pituudesta (Feachem ym. 1983). Korkeammassa lämpötilassa tarvitaan lyhyempi aika materiaalin hygienisointiin, esim. lannan patogeeneit inaktivoituvat tehokkaasti termofiilisessä (> 55 °C) lämpötilassa (Heinonen-Tanski ym. 2005). Kun valtaosa käsiteltävästä materiaalista käy läpi käsittelyn korkeassa lämpötilassa, voi kompostituote tai muu orgaaninen lannoitevalmiste olla hygieeniseltä laadultaan hyvää (Christensen ym. 2002). Hygieenistä laatua indikoivien organismien tulee olla yhdistettävissä patogeeni-lähteeseen, riittävän runsaslukuisia kvantitatiivisen määrityksen tekemiseen, kestävyydeltään resistenttien patogeenisien organismien kaltaisia ja määritettävissä yksinkertaisilla, turvallisilla, luotettavilla ja tarkkoilla menetelmillä (Dumontet ym. 1999). Suomessa käytettävien lannoitevalmisteiden tulee täyttää Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 24/11 (MMM 2011) laatuvaatimukset. Asetuksen mukaan lannoitevalmisteissa ei saa esiintyä *Salmonellaa* ja *Escherichia coli* sallittu enimmäismäärä on 1000 pmy/g. Patogeenien säilymistä maassa lietetuotteiden peltolevityksen jälkeen on tutkittu melko vähän. Yleensä fekaaliset bakteerit selviytyvät peltomaassa enintään kolme kuukautta (Estrada ym. 2004, Lang ym. 2007), sillä hapelliset olosuhteet ovat niille sopimattomat tai maan luontaiset organismit voittavat ne kilpailussa.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puhdistamolietepohjaisten, keskitetyissä laitoksissa valmistettujen lannoitevalmisteiden hygieenistä laatua mikrobiologisten indikaattorien määrityksillä. Lisäksi tarkastelemme peltomaan indikaattorimikrobien määriä kevätlannoituksen jälkeisellä kasvukaudella, ja poikkeavatko lietekäsittelyn maan indikaattorimäärät lannoittamattoman maan määristä.

## Aineisto ja menetelmät

Puhdistamolietteen mädätysjäännöksestä valmistettuja lannoitevalmisteita käytettiin ohran ja kevätvehnän lannoitteena Etelä-Savossa vuosina 2010 ja 2011. Vuoden 2010 viljelykokeeseen valittiin tarkasteltavaksi neljä valmistajien toimittamaa lietetuotetta: mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete (kuivattu liete), mädätetty ja turpeen kanssa tunnelikompostoitu puhdistamoliete (kompostoitu liete), termofiilisessä seosprosessissa mädätetty ja kuivattu puhdistamoliete (kuivattu seosliete), sekä mädätetty ja termisesti pelletöity ureatäydennetty puhdistamoliete (rakeistettu liete). Lannoitukset tehtiin tuoteselosteiden perusteella ja viljelyn ympäristöohjelman mukaisesti, käyttäen lietetuotteen typpilannoituksen täydennyksenä eri mineraalityypen tasoja. Puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden sisältämästä kokonaisfosforista 40 % laskettiin kasveille käyttökelpoiseksi. Vuonna 2010 lietetuotteita käytettiin ohralle enimmillään seuraavat määrät hehtaarille: 17 tonnia kuivattua lietettä, 20 tonnia kompostoitua lietettä, 16 tonnia kuivattua seoslietettä ja 2 tonnia rakeistettua lietettä. Vehnäkoelannoitettiin vuonna 2011 mädätetystä puhdistamolietteestä valmistetulla kompostilla tai termisesti pelletöidyllä rakeella. Suurimmat käyttömäärät olivat fosforin varastolannoituksen perusteella 4 tonnia raetta tai 11 tonnia kompostia tuoreaineena hehtaarille.

Käytetyistä lannoitevalmiste-eristä analysoitiin levitysjankohdan todelliset ravinnepitoisuudet sekä hygieniaindikaattoreina *Escherichia coli*, enterokokit ja *Salmonella*. Hygieniaindikaattorit määritettiin ensimmäisenä vuonna myös maasta 2 ja 4 viikkoa lannoituksen jälkeen sekä syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Suurimman riskin omaavan käsittelyn (Kuivatun lietemateriaalin maksimimäärä) vaikutusta verrattiin käsit-

telemättömän peltomaan pitoisuuksiin läpi kasvukauden. Sadonkorjuun aikaan myös keskimmaiselta liete-lannoituksen annostelutasolta määritettiin maan hygieniaindikaattorit. Toisena vuonna hygieniaindikaattorit analysoitiin vehnäkokeen lannoitevalmisteista, mutta ei peltomaasta.

Lannoitevalmisteen peltolevityksen yhteydessä otetut 1-2 litran kokoomanäytteet muodostuivat noin 15 osanäytteestä. Maanäytteet otettiin steriloiduilla metallilusikoilla 0-5 cm syvyydeltä, ja kukin 1 litran näyte muodostui vähintään 10 osanäytteestä. Näytteet viilennettiin ja lähetettiin kylmälaukuissa laboratorioon näytteenottopäivänä ja hygieniaindikaattorien analysointi aloitettiin seuraavana päivänä.

*Escherichia coli* ja fekaaliset koliformit määritettiin Merckin (Darmstadt, Germany) Chromocult-alustalla 1.10426.0500 lämpötilassa 37.0+0.5 °C standardin ISO 9308-1 (2000) mukaisesti paitsi jättämällä suodatus pois tutkimusmateriaalin kiintoaineen tähden. Enterokokit inkuboitii 48 h lämpötilassa 44,5 °C Slanetz-Bartleyn (LAB 166, Lancashire, UK) ISO 7899-2 (2000) mukaisesti ja jättämällä suodatus pois. Salmonellan analysointia varten 25 g näytettä laitettiin 225 ml:an peptonivettä (määritysraja 1 kpl/25 g). Salmonella määritettiin ISO-standardin (ISO 6579 [1993]) mukaan, käyttäen tunnistukseen Rambach- ja XLD-agareja (Merck, Darmstadt, Germany).

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Vuoden 2010 Lannoitevalmisteiden hygieniaindikaattorien tulokset osoittivat selkeitä tasoeroja eri tavoin käsiteltyjen lietetuotteiden välillä (Taulukko 1). Pelkkä kuivatus ei riittänyt hygienisoimaan lietettä, vaan riittävän hygienisointiasteen (*E. coli* < 1000 pmy/g, ei Salmonellaa) saavuttamiseksi liete on muulla tavoin aktiivisesti käsiteltävä. Puhdistamolietettä sisältävä jäteseos, joka oli hygienisoitu ja mädätetty termofiilisesti oli hygieniseltä laadultaan selkeästi lannoitevalmistesäädösten vaatimusten mukaista. Myös kompostoitu puhdistamoliete ja rakeistettu puhdistamoliete täyttivät lannoitevalmistesäädösten asettamat hygienisyyssvaatimukset.

Vuonna 2011 vehnäkokeella käytettyjen lietepohjaisten lannoitevalmisteiden hygieniaindikaattorit määritettiin lannoituksen yhteydessä otetuista näytteistä. Tuotteiden hygienia todettiin moitteettomaksi (Taulukko 1), joten maan indikaattorimääriä ei analysoitu.

Taulukko 1. Lannoitevalmisteiden hygieeninen laatu lannoitusten yhteydessä 25.5.2010 ja 23.5.2011.

	2010					2011				
	E. coli		Enterokokit		Salmonella	E. coli		Enterokokit		Salmonella
	pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	kpl/25 g	pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	kpl/25 g
Kuivattu seos	18	1,26	342	2,53	negat.					
Kompostoitu	167	2,22	a.m.	a.m.	negat.	81	1,91	9	0,95	negat.
Rakeistettu	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	negat.	a.m.	a.m.	a.m.	a.m.	negat.
Kuivattu	870000	5,94	8063	2,91	negat.					
a.m. = alle määritysrajan (v. 2010: 10 pmy/g, v. 2011: 5 pmy/g)										

Aiemmassa tutkimuksessa (Tontti ym. 2011) määritettiin kompostituotteiden sisältämiä hygieniaindikaattorien määriä. Kyseisen tutkimuksen viimeisenä vuonna (2005) koliformien määrä (pääasiassa *E. colia*) komposteissa oli 2,0–2,5 log<sub>10</sub> pmy/g ja enterokokkien määrä oli 4,4–4,7 log<sub>10</sub> pmy/g. Tämän meneillään olevan hankkeen puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden indikaattorimikrobien pitoisuudet olivat muutoin alhaisemmat, mutta kuivatun lietteen pitoisuudet olivat korkeammat.

Lannoitteiden levityksen jälkeen vuonna 2010 seurattiin suurimman riskin omaavan käsittelyn (Kuivatun lietteen maksimimäärä) vaikutusta peltomaan hygieniaindikaattoripitoisuuksiin käsittelemättömän peltomaan pitoisuuksiin verrattuna. Kahden viikon kuluttua lannoitevalmisteiden levityksestä sekä *E. colin* että enterokokkien määrät olivat hyvin samanlaiset lannoittamattomassa ja suurimman kuivatun liete-määrän koeruudussa. Neljä viikkoa levityksen jälkeen lannoittamattoman maan *E. colin* määrä oli laskenut, mutta kuivatun lietemateriaalin ruuduissa määrä oli kasvanut kahden viikon tulokseen verrattuna.

Ohran sadonkorjuun jälkeen myös keskimmaisen lannoitustason pintamaanäytteistä määritettiin *E. colin* ja enterokokkien määrät. Kummankaan indikaattorimikrobin määrissä ei ollut lannoituskäsittelyjen välillä eroja. Sekä lannoittamaton kontrolli että NPK-kontrolli olivat indikaattoripitoisuuksiltaan samalla tasolla kuin puhdistamolietepohjaisilla materiaaleilla lannoitettu maa.

Taulukko 2. Hygieniaindikaattorit peltomaassa vuonna 2010 kaksi ja neljä viikkoa lietetuotteilla tehdyn lannoituksen jälkeen sekä sadonkorjuun aikaan. Tulokset on esitetty logaritimuunnetun aineiston geometrisena keskiarvona. Lannoittamattomasta ja suurimman lietalannoituksen käsittelystä indikaattorit analysoitiin kolme kertaa, keskimmäisen lannoitustason indikaattorit määritettiin vain sadonkorjuun aikaan.

		2 viikkoa		4 viikkoa		Sadonkorjuu	
		E. coli	Enterokokit	E. coli	Enterokokit	E. coli	Enterokokit
		log <sub>10</sub> pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g	log <sub>10</sub> pmy/g
Lietetuote	Lannoitus						
Lannoittamaton	Nolla	4,02	0,87	3,46		3,84	1,44
Kuivattu seos	Med					4,07	1,41
Kompostoitu	Med					3,51	0,94
Rakeistettu	Med					4,21	1,06
Kuivattu	Med					3,93	1,52
NPK 70	Med					4,21	1,50
Kuivattu	High	3,94	0,97	4,40		4,05	1,66

Aiemmin kompostilannoituksella tehdyssä peltokokeessa (Tontti ym. 2011) määritettiin hygieniaindikaattorien määriä kompostilannoitetussa, luomukäytäntöjen mukaan viljellyssä peltomaassa nurmen suojaviljaohran alta. Kompostien raaka-aineina oli käytetty yhdyskuntien lajiteltua biojätettä, puhdistamolietettä ja naudanlantaa. Kaksi viikkoa kompostilannoitusten jälkeen fekaalisten koliformien (pääasiassa *E. coli*) määrä oli 2,0–2,2 log<sub>10</sub> pmy/g kompostilannoitetussa ja 1,8 log<sub>10</sub> pmy/g lannoittamattomassa maassa. Enterokokkien määrät maassa kaksi viikkoa kompostilannoituksen jälkeen olivat 3,1–3,2 log<sub>10</sub> pmy/g ja lannoittamattomassa maassa alle 2,0 log<sub>10</sub> pmy/g. Ohran syksyisen puinnin jälkeen fekaalisten koliformien määräksi kompostilla lannoitetussa peltomaassa määritettiin 1,8–2,2 log<sub>10</sub> pmy/g ja lannoittamattomassa peltomaassa 1,8 log<sub>10</sub> pmy/g. Puinnin jälkeen peltomaan enterokokkien määrät olivat puolestaan kompostilannoitetussa maassa 3,6–4,2 log<sub>10</sub> pmy/g ja lannoittamattomassa maassa 3,1 log<sub>10</sub> pmy/g.

Aiempaan tutkimukseen verrattuna näiden tulosten puhdistamolietetuotteilla lannoitetun peltomaan *E. coli* määrät ovat suurempia ja enterokokkien määrät puolestaan pienempiä, sekä lannoittamattoman että lannoitetun maan kohdalla. Hygienia-indikaattoreita löytyi peltomaasta lannoitusten jälkeen sekä lietalannoitusta saaneilta että täysin lannoittamattomilta alueilta. Sekä lannoittamattoman että lietetuotteilla lannoitetun peltomaan *E. coli* määrä ylitti selvästi lannoitevalmisteille asetetun raja-arvon (1000 pmy/g = 3,0 log<sub>10</sub> pmy/g). Peltoympäristössä mikrobit voivat olla peräisin pellolla elävistä eläimistä yms. ja lietemateriaali vaikuttaa todennäköisesti vain osittain peltomaan mikrobistoon.

## Johtopäätökset

Puhdistamolietemateriaali on käsiteltävä aktiivisesti jotta indikaattorien määrä alittaa lannoitevalmisteidösten asettamat rajat. Pelkkä kuivatus ei takaa puhdistamolietteen riittävää hygienia- ja termosta. Hygienisoitu termofiilisesti mädätetty puhdistamoliete, kompostoitu puhdistamoliete sekä rakeistettu puhdistamoliete olivat selkeästi säädösten hygienia- ja termosta mukaisia. Peltomaan hygienia- ja termosta lietetuotteet heikentävät indikaattoritulosten perusteella todennäköisesti varsin vähän.

Sekä puhdistamolietepohjaisten että muiden lannoitevalmisteiden valmistuksessa on tärkeää varmistaa tehokas ja huolellinen prosessointi sekä perusteellinen laadunvalvonta. Lietetuotteiden hyvä hygieeninen laatu tulee taata, jotta tuotteiden turvallinen hyödyntäminen kasvintuotannossa ja sopiville viljelykasveille on mahdollista.

## Kirjallisuus

- Albihn, A. & Vinnerås, B.** 2007. Biosecurity and arable use of manure and biowaste – Treatment alternatives. *Livestock Science* 112: 232–239.
- Christensen, K.K., Carlsbaek, M., Norgaard, E., Warberg, K.H., Venelampi, O. & Brogger, M.** 2002. Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries. *TemaNord* 567. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark, 68.
- Dumontet, S., Diné, H. & Baloda, S.B.** 1999. Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: a review. *Biological Agriculture and Horticulture* 16: 409–430.
- Estrada, I.B., Aller, A., Aller, F., Gomez, X., & Moran, A.** 2004. The survival of *Escherichia coli*, faecal coliforms and Enterobacteriaceae in general in soil treated with sludge from wastewater treatment plants. *Bioresource Technology* 93: 191–198.
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. & Mara, D.D.** 1983. Sanitation and disease – health aspects of excreta and wastewater management. *Worldbank Studies in Water Supply and Sanitation* 3. USA: John Wiley & Sons.
- Heinonen-Tanski, H., Kiuru, T., Ruuskanen, J., Korhonen, K., Koivunen, J. & Ruokojärvi, A.** 2005. Thermophilic aeration of cattle slurry with whey and/or jam wastes. *Bioresource Technology* 96: 247–252.
- ISO 9308-1.** 2000 Water quality -- Detection and enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria -- Part 1: Membrane filtration method.
- ISO 7899-2.** 2000 Water quality-Detection and enumeration of intestinal enterococci-Part2: Membrane filtration method.
- MMM** 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24: 1 – 6 + 4 liitettä. Helsinki 1.9.2011.
- Lang, N.L., Bellett-Travers, M.D. & Smith, S.R.** 2007. Field investigations on the survival of *Escherichia coli* and presence of other enteric micro-organisms in biosolids-amended agricultural soil. *Journal of Applied Microbiology* 103: 1868–1882.
- SYKE** 2010. Yhdyskuntien jätevesilietteet. Suomen ympäristökeskus. Saatavilla osoitteessa: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi) > Ympäristön tila > Jätteet > Jätteiden synty toimialoittain > Yhdyskuntien jätevesilietteet. Päivitetty 13.7.2010. Cited 30.11.2011.
- Tontti, T., Heinonen-Tanski, H., Karinen, P., Reinikainen, O. & Halinen, A.** 2011. Maturity and hygiene quality of composts and hygiene indicators in agricultural soil fertilised with municipal waste or manure compost. *Waste Management & Research* 29, 2: 197-207.