



# ENERGIATEHOKAS LIETTEEN JATKOJALOSTUS

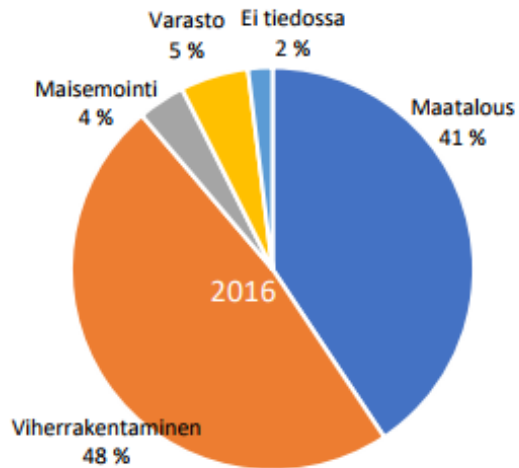
## Energiatehokas vesihuoltolaitos



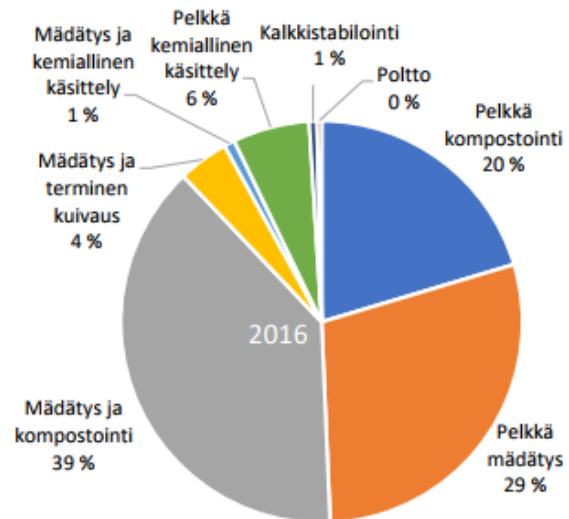
# Lietteen käsittely

Puhdistamoliete on käsiteltävä ennen hyötykäyttöä niin, että se täyttää laatu- ja hygieniakriteerit. Lietteen hyötykäyttö maataloudessa tai viherrakentamisessa edellyttää, että liete käsitellään joko biologisesti kompostoimalla, mädättämällä,

vanhentamalla, kemiallisesti kalkkistabiloinnilla, happovetyperoksidikäsitelyllä, fysikaalisesti kuumentamalla (terminen kuivaus). Liete on mahdollista myös polttaa, mutta tämä on Suomessa toistaiseksi vielä vähäistä.



**Kuva.** Lietteen hyötykäyttötapojen suhteelliset osuudet vuonna 2016. Lähde: Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus, VVY, monistesarja nro 46



**Kuva.** Lietteen käsittelymenetelmien osuudet lietteen kokonaismäärästä vuonna 2016. Lähde: Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus, VVY, monistesarja nro 46



# Menetelmien soveltuvuus eri lietteille

Menetelmän tyyppi	Menetelmä	Käsittävät lietteet	Lietteen kuiva-ainepitoisuuden (TS %) vaikutus prosessiin	Tuotteet ja rejektit	Kaupallisesti hyödynnettävissä
Biologinen	Kompostointi	Tiivistetty Vedetöity Mädätysjäännös	Tukiaineen tarve (TS:n nosto)	Komposti	Komposti
Biologinen	Mädätys	Tiivistetty Vedetöity	Laimentaminen 5-15 TS % (märkäprosessi) tai kuivaaminen 15-60 TS % (kuivaprosessi)	Biokaasu Mädätysjäännös Rejektivesi	Polttoaine, liikennepolttoaine Lannoite, maanparannusaine Lannoite
Terminen	Kuivaus	Vedetöity Mädätysjäännös	Energian kulutus (TS:n nosto)	Termisesti kuivattu liete (n. 90 % TS) Rejektivesi*	Lannoite, maanparannusaine Polttoaine
Terminen	Pyrolyysi	Termisesti kuivattu Mädätysjäännös	Energian kulutus (TS:n nosto)	Pyrolyysikaasu Bioöljy Biohiili / tuhka Rejektivesi**	Polttoaine (prosessiin) Polttoaine, liikennepolttoaine Maanparannusaine
Terminen	Poltto	Vedetöity Termisesti kuivattu	Tukipolttoaineen tarve (TS:n nosto)	Tuhka Rejektivesi**	Maanparannusaine

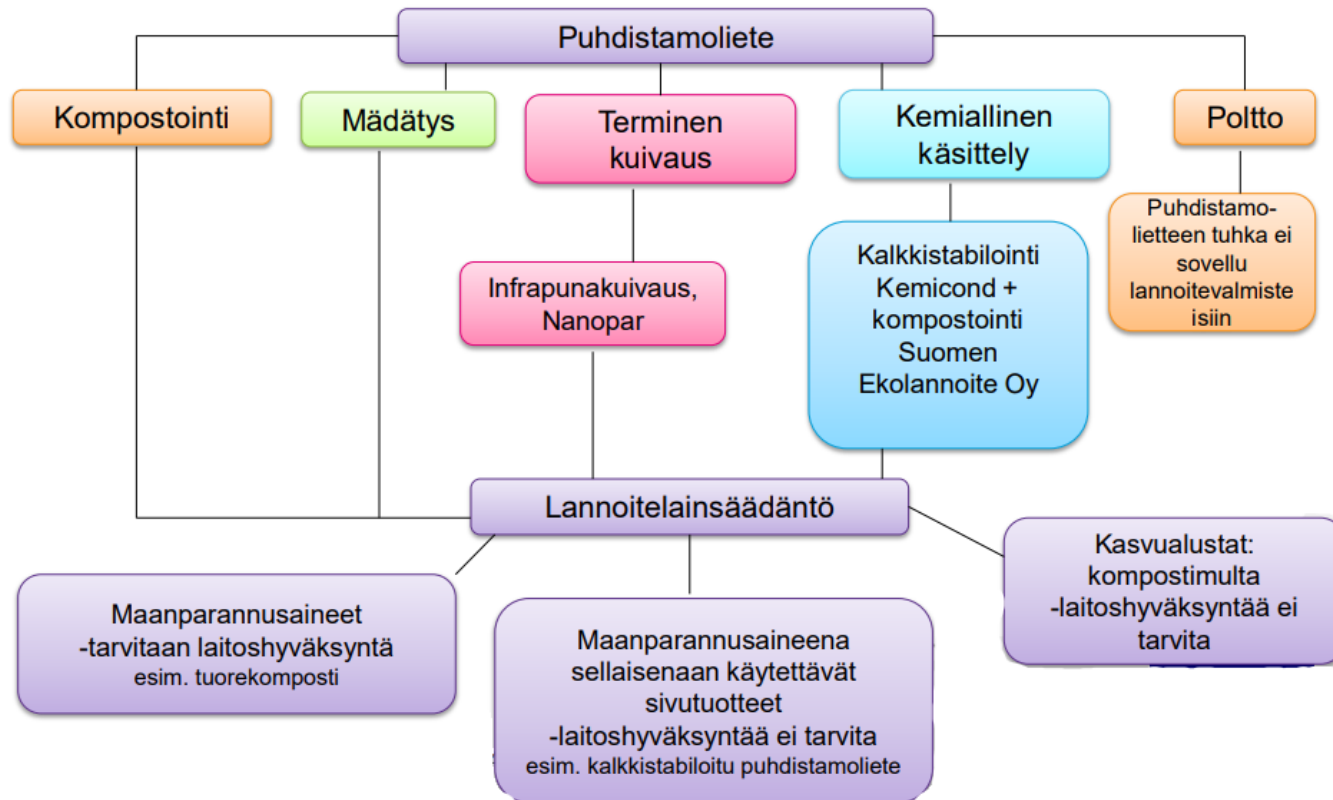
\*Rejektivettä muodostuu prosessissa ja savukaasujen käsittelyssä.

\*\*Rejektivettä muodostuu savukaasujen käsittelyssä.

**Taulukko.** Erilaisia lietteen käsittelymenetelmiä, niiden soveltuvuus eri tavoin käsitellyille lietteille ja esimerkkejä jatkokäyttömahdollisuuksista.  
Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016



# Käsittelymenetelmät ja lainsäädäntö



**Kuva.** Puhdistamolietteen käsittelymenetelmiä. Lähde Tunkiotaloudesta kohti kierrätysbisnestä, Eveliina Repo 16.2.2016



# Kompostointi

## Kompostoinnin energiankäytöstä

- Kompostointilaitokset eivät käytännössä tuota laitoksen ulkopuolella hyödynnettävää energiaa. Kompostointiprosessissa syntyvä lämpö hyödynnetään laitoksilla rakennusten ja prosessiin syötettävän ilman lämmittämiseen.
- Varsinainen kompostointiprosessi on lämpö-omavarainen. Ulkopuolista energiaa kompostointilaitoksissa kuluu varsinaisesti työkoneiden polttoaineena ja ilmastuksessa sekä materiaalin käsittelylaitteissa sähköenergiana.
- Kompostointilaitoksen sähköenergian kulutus on 40-60 kWh/t riippuen laitoksen automatisoinnista. (Sitra, Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys)

**Taulukko.** Kompostoinnin energiankulutus- ja ilmapäästölukuja. Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatuksiteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	30	kWh/t TS aumakompostointi	OTV 1997; Suh & Rousseaux 2002 mukaan
	66,67	kWh/t TS keskimäärin	Myllymaa et al. 2008, s. 26
Polttoaine	5	l diesel/t liete+hake (TS 40 %)	Zhao et al. 2015b
	8,4	kg diesel/t TS liete	OTV 1997; Suh & Rousseaux 2002 mukaan
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub>	150	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS keskimäärin	
CH <sub>4</sub>	2,9	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS keskimäärin	Garrido-Baserba et al. 2015
N <sub>2</sub> O	0,2	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS keskimäärin	
CO <sub>2</sub>	87	kg/t seos (liete + turve)	
CH <sub>4</sub>	0,987	kg/t seos (liete + turve)	Myllymaa et al. 2008
N <sub>2</sub> O	0,051	kg/t seos (liete + turve)	



# Vinkkejä kompostoinnin energiatehokkuuden parantamiseen

- 1) Valitse lietteelle ja kohteelle sopiva ja oikea kompostointimenetelmä.
- 2) Mädättäminen ennen kompostointia pienentää määrää jopa 40 %.
- 3) Kuivaa puhdistamoliete yli 20 % kuiva-ainepitoisuuteen niin tarvittavat tukiainemäärät ovat pienemmät.
- 4) Käytä tuki- ja parannusaineita oikein.
- 5) Luo kompostimassaan ilmava rakenne
- 6) Optimoï aumankääntöjen ajoitus ja toteuta ne tehokkaasti energiankäyttö minimoiden.
- 7) Optimoï happimäärä, kosteus, lämpötila ja pH. Huomioï parametrien vaikutus prosessin nopeuteen ja kokonaisenergiankäyttöön.
- 8) Minimoi hajukaasujen käsittelyjärjestelmän energiankulutus prosessisäädöin ja energiatehokkaiden komponenttien avulla.
- 9) Hyödynnä prosessin lämpöhäviöt.



# Mädätys

## Mädätyksen energiatehokkuuden parantaminen

Vedetöinti-mesofiilinen mädätys-pyrolyysi-käsittely-ketju tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Mädätys yhdistettynä pyrolyysiin oli kustannuksiltaan, kasvihuonekaasupäästöiltään ja energiataseeltaan parempi menetelmä kuin mädätys ja mädätys-jäännöksen terminen kuivaus. (Cao & Pawlowski 2013)

**Taulukko.** Termofiilisen mädätyksen energiankulutus- ja ilmapäästölukuja. Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	93,7	kWh/t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
	437	kWh/t TS	Myllymaa et al. 2008, s. 24
Lämpö	350	kWh/t TS	Myllymaa et al. 2008, s. 24
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub>	3,87	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
CH <sub>4</sub>	0,18	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	
N <sub>2</sub> O	0,06	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Pradel & Reverdy 2013

**Taulukko.** Mesofiilisen mädätyksen energiankulutus- ja ilmapäästölukuja. Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	153,9	kWh/t TS	Xu et al. 2014
	88,6	kWh/t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
Lämpö	0,3	osuus CHP:ssa tuotetusta lämmöstä	
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub>	1,29	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
CH <sub>4</sub>	0,18	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Hospido et al. 2005
N <sub>2</sub> O	5,3	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Pradel & Reverdy 2013



# Terminen käsittely, kuivaus

Lietteen palaminen tekniikasta riippumatta koostuu neljästä eri vaiheesta: kuivuminen, haihtuvien kaasujen vapautuminen (l. pyrolyysi), haihtuvien kaasujen syttyminen ja palaminen, ja koksijäännöksen palaminen. Kaikki termiset menetelmät perustuvat samoihin reaktioihin, mutta palamisprosessi ei etene loppuun saakka.

Lietteen ominaisuuksilla on merkitystä termisten prosessien tuottoon. Mitä enemmän lietteessä on haihtuvia yhdisteitä, sen korkeampi lämpöarvo sillä on. Mitä tehokkaampi vedetöinti on, sen vähemmän kustannuksia termisestä kuivauksesta aiheutuu.

**Taulukko.** Termisen kuivauksen energiankulutus- ja ilmapäästölukuja.  
Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	1 525	MJ/t TS	Myllymaa et al. 2008, s. 28
	166	kWh/t TS	Houillon & Joillet 2005
	118	kWh/t TS	Hospido et al. 2005
Lämpö	1,638	kWh/t TS	Hospido et al. 2005
Kevyt polttoöljy	256	kg/t TS	Myllymaa et al. 2008, s. 28
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub>	163	kg/t TS 83 %	Myllymaa et al. 2008, s. 22
CO <sub>2</sub>	0,15	t CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Cao & Pawlowski 2013
CH <sub>4</sub>	0,002	kg/t TS 83 %	Myllymaa et al. 2008, s. 22

## Termisen kuivauksen energiankäytöstä

- Termisen kuivauksen lämpöarvoa, jolloin sitä voidaan vastaavasti tehokkaammin hyödyntää energiantuotannossa.
- Termisen kuivauksen lämpöenergian kulutus vaihtelee yleensä välillä 0,8–1,1 kWh/kgH<sub>2</sub>O (haihdutettua vesikiloa kohti). Sähköenergian kulutus vaihtelee riippuen termisen kuivauksen laitteistosta, arviolta vaihteluväli on 4–5 kWh/m<sup>3</sup> lietettä ja suurimmillaan useita kymmeniä kilowattitunteja lietekuutiota kohti.
- Termisen kuivauksen energian kulutus riippuu paljon halutusta kuiva-ainepitoisuudesta. Kuiva-aineen 5 prosentin muutos vastaa 9 prosentin muutosta energiankulutuksessa.
- Lämmönkulutus termisessä kuivauksessa on korkea, joten termisen kuivauksen yhdistetään usein polttoon, jolloin lietteen lämpöarvo saadaan hyödynnettyä.
- Koska menetelmän käyttökustannukset ovat varsin korkeat, sen hyödyntäminen vaatii edullisen energialähteen (esim. mädätyksessä saatava biokaasu, kaatopaikkakaasu, ylijäämälämpö teollisuudesta tai kaukolämmön tuotannosta ym.). Samoin prosessin ylimääräinen lämpöenergia pitäisi saada hyödynnettyä esim. kaukolämpöverkossa.

Lähde: Sitra, Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys





# Terminen käsittely, pyrolyysi

Pyrolyysi, eli kuivatislaus, on orgaanisen aineksen hajottamista termisesti ali-ilmaisissa, inerteissä olosuhteissa. Pyrolyysi on palamisen toinen vaihe polttoprosesseissa kuivumisen jälkeen. Pyrolyysissä biomassa lämmitetään nopeasti pyrolyysi-lämpötilaan 400–1 000 °C vähähappisissa olosuhteissa. Loppujakeina muodostuu tiivistymättömiä kaasuja, biohiiltä ja bioöljyä.

**Taulukko.** Pyrolyysin energiankulutus- ja ilmapäästölukuja. Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016.

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	244	kWh/t TS	Hospido et al. 2005
Kevyt polttoöljy	39,4	kg/t TS	Houillon & Joillet 2005
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub> , biogeeninen	579	kg/t TS	Hospido et al. 2005
N <sub>2</sub> O	3,66	kg/t TS	
CO <sub>2</sub>	0,02	t CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Cao & Pawlowski 2013

## Pyrolyysin energiatehokkuuden parantaminen

- Pyrolyysi soveltuu parhaiten mädätetylle lietteelle
- Pyrolyysiprosessissa eniten energiaa kuluu termiseen kuivaukseen, sillä lietteen kuivaainepitoisuus on oltava ennen pyrolyysiä noin 95 % Taulukon arvot sisältävät vain pyrolyysin energiankulutusluvut.
- Pyrolyysissä lämpöä voidaan talteenottaa savukaasuista ja käyttää prosessin tarpeisiin. Myös pyrolyysikaasut käytetään ensisijaisesti prosessin omaan lämmön tarpeeseen. Kaasujen hyödyntämisellä voidaan korvata fossiilista polttoainetta.
- Pyrolyysikaasun energiasisältö on 17,7 MJ/kg TS. Pyrolyysikaasun hyödyntämisellä prosessissa saavutetaan noin 75 % energiasäästö.
- Pyrolyysissä muodostuvaa biohiiltä voidaan myös hyödyntää prosessin lämmöntuotantoon polttamalla Pyrolyysi yhdistettynä mädätykseen on energiataseeltaan ja kasvihuonekaasupäästöiltään edullisempi prosessi kuin terminen kuivaus–pyrolyysi.



# Terminen käsittely, poltto

**Taulukko.** Polton energiankulutus- ja ilmapäästölukuja. Lähde: Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen, Sanna Ruuhela, diplomityö TUT 2016

	Määrä	Yksikkö	Lähde
<b>Kulutus</b>			
Sähkö	400	kWh/t TS 25 %	Houillon & Joillet 2005
	9,5	kWh/t TS 35 %	Hospido et al. 2005
	265	kWh/t TS 31 %	OTV 1997; Suh & Rousseaux 2002
Kevyt polttoöljy	13,9	kg/t TS	Houillon & Joillet 2005
Raskas polttoöljy	31	kg/t TS	Hospido et al. 2005
Maakaasu	410	kWh/t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
	65	N m <sup>3</sup> /t TS	Houillon & Joillet 2005
<b>Ilmapäästöt</b>			
CO <sub>2</sub> , biogeeninen	1 500	kg/t TS	Hospido et al. 2005
CO <sub>2</sub>	800	kg/t TS	Hospido et al. 2005
CO <sub>2</sub>	450	kg CO <sub>2</sub> -ekv./t TS	Garrido-Baserba et al. 2015
CH <sub>4</sub>	1,6	kg/t TS 84 %	Myllymaa et al. 2008, s. 52

## Polton energiatehokkuuden parantaminen

- Polttoa varten liete pitäisi kuivata mahdollisimman kuivaksi, jotta tukipolttoaineen määrä voidaan minimoida.
- Lietteen poltto vaatii tukipolttoainetta ja maakaasua lämmön ylläpitoon prosessissa (Houillon et Joillet 2005). Korkean lämpötilan (> 850 oC) ylläpito tulipesässä vaatii paljon energiaa (GarridoBaserba et al. 2015).



Motiva on tuottanut aineiston osana **Energiatehokas vesihuoltolaitos** -hanketta (2016-2018), jossa on laadittu erilaisia käytännönläheisiä esimerkkejä ja ohjeita vesihuoltolaitoksen energiatehokkuutta edistävästä toimista ja ratkaisuista.

Hankkeeseen osallistuvat Vesilaitosyhdistys, HSY, Hämeenkyrön kunnan vesihuoltolaitos, Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, Kuopion Vesi, Kurikan Vesihuolto Oy, Lahti Aqua Oy, Lempäälän Vesi, Nokian Vesi Oy, Oulun Vesi, Turun seudun puhdistamo Oy, Turun Vesiliikelaitos, Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, Vaasan Vesi, Vihdin Vesi, ABB Oy, Flowplus Oy, Hyxo Oy, Oilon Oy ja SKS Control Oy.

Hanketta rahoittavat Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto, Energiavirasto sekä hankkeeseen osallistuvat laite-, palvelu- ja järjestelmätoimittajat.

**[www.motiva.fi/vesihuoltolaitos](http://www.motiva.fi/vesihuoltolaitos)**