



JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYN LASKENTAMALLIT

Biokaasun tuotanto

Lietteen poltto

Lietteen kompostointi

Tekijät: Kaisa Manninen ja Jyrki Laitinen, Suomen ympäristökeskus 2015

Päivitetty 8/2016

Sisällys

1.	Laskentamallin tausta ja käyttörajoitukset	4
2.	Laskentamallien rakenne ja käyttöohjeet.....	4
3.	Laskentamalli 1. Biokaasun tuotanto.....	4
3.1.	Lähtötiedot ja oletukset	4
3.1.1.	Turun seudun puhdistamon toiminta.....	4
3.1.2.	Energiantuotannon päästölaskenta	5
3.1.3.	Kuljetukset	5
3.1.4.	Biokaasun loppukäyttö	6
3.1.5.	Lannoitehyvitykset	7
3.1.6.	Tulokset	8
3.2.	Esimerkkilaskennan tulokset	8
3.2.1.	Käytetyt laskentaoletukset	8
3.2.2.	Esimerkkilaskennan tulokset.....	9
4.	Laskentamalli 2. Lietteen poltto	12
4.1.	Lähtötiedot ja oletukset	12
4.1.1.	Turun seudun puhdistamon toiminta.....	12
4.1.2.	Energiantuotannon päästölaskenta	12
4.1.3.	Kuljetukset	13
4.1.4.	Lietteen polttoprosessi	13
4.1.5.	Lannoitehyvitykset	14
4.1.6.	Tulokset	14
4.2.	Esimerkkilaskennan tulokset	15
4.2.1.	Käytetyt laskentaoletukset	15
4.2.2.	Esimerkkilaskennan tulokset.....	16
5.	Laskentamalli 3. Lietteen kompostointi.....	19
5.1.	Lähtötiedot ja oletukset	19
5.1.1.	Turun seudun puhdistamon toiminta.....	19
5.1.2.	Energiantuotannon päästölaskenta	19
5.1.3.	Kuljetukset	20
5.1.4.	Kompostointiprosessi	20
5.1.5.	Lannoitehyvitykset	21
5.1.6.	Tulokset	21
5.2.	Esimerkkilaskennan tulokset	22
5.2.1.	Käytetyt laskentaoletukset	22
5.2.2.	Esimerkkilaskennan tulokset.....	23



6. Yhteenveto ja johtopäätökset	25
6.1. Energiataseiden vertailu.....	25
6.2. Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu.....	26
6.3. Tulosten vertailtavuus ja käyttö	26
Lähdeluettelo	27

1. Laskentamallin tausta ja käyttörajoitukset

Turun seudun puhdistamon (TSP) pyynnöstä rakennettiin kolme laskentamallia, joiden avulla voidaan laskea jätevesilietteen käsittelyketjun energiatase ja CO₂-päästöt.

Laskentamalli on yksinkertaistettu elinkaarilaskentatyökalu ja sen tulokset ovat suuntaa antavia. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioita, että käytetyt laskentaoletukset perustuvat sekä toimijoilta saatuihin tietoihin että kirjallisuuteen ja useiden parametrien osalta on tehty oletuksia sekä yleistyksiä.

2. Laskentamallien rakenne ja käyttöohjeet

Laskentamalleja on kolmelle eri lietteenkäsittelymenetelmälle, jotka ovat mädätys, poltto ja kompostointi. Jokainen laskentamalli on rakenteeltaan samanlainen, mutta syötettävien lähtötietojen välillä on eroavaisuuksia. Laskentamallit ovat Excel-pohjaisia ja ne koostuvat kolmesta pääsivusta sekä apuvälilehdistä, jotka sisältävät laskennan ja lähtötietoja. Laskentamallien pääsivut ovat:

- 1) **Aloitussivu**, jolta pääsee siirtymään linkkien avulla kahdelle muulle pääsivulle ja syötetään laitoksen yksilöintitiedot Aloitussivulla määritellään, kuinka suuri osa lietteestä käsitellään kyseisellä tekniikalla, jota täytettävä laskentamalli kuvaa.
- 2) **Lähtötiedot**, jossa käyttäjä määrittelee laskennassa tarvittavat lähtöarvot.
- 3) **Tulokset**, jonne on koottu tulokset energiataseesta ja kasvihuonekaasupäästöistä.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty erikseen kuhunkin laskentamalliin liittyvät ominaisuudet ja laskennan oletukset.

3. Laskentamalli 1. Biokaasun tuotanto

Biokaasun tuotannon laskentamalli perustuu toimijoilta saatuihin tietoihin biokaasun tuotantoketjusta ja käsittelyjäännöksen jatkokäsittelystä.

3.1. Lähtötiedot ja oletukset

3.1.1. Turun seudun puhdistamon toiminta

Turun seudun puhdistamon toimintaan liittyvät tiedot on saatu TSP:ltä. Laskentamalli huomioi puhdistamon lietteen kuivaukseen kuluvan energian, kuiva-ainepitoisuuteen 20 % ja 30 %. Lisäksi laskentamalli huomioi ilmastuksen energiankulutuksen, joka riippuu puhdistamolle toimitettavasta paluulietteen kokonaistyyppimäärästä. Kokonaistypen arvioitu määrä täytetään myös silloin, jos puhdistamolietettä palautuu jollekin muulle puhdistamolle kuin TSP:lle, jolloin puhdistamotoimintaan liittyvät vaikutukset tulee huomioida. Taulukossa 1 on esitetty TSP:ltä saadut lähtötiedot, jotka voidaan syöttää oletusarvoiksi. Laskentamallissa lietteen kuivaus 20 % kuiva-ainepitoisuuteen oletetaan referenssitasoksi ja sen energiankulutukseksi syötetään 0 ja ainoastaan

lisäenergiatarve, jos liete kuivataan 30 % kuiva-ainepitoisuuteen, huomioidaan. Taulukon 1 kuivauksen energiankulutuksen erotusten mukaisesti lisäenergiatarve on 68 498 kWh/vuodessa.

Taulukko 1. TSP:n toimintaan ja lietteen ominaisuuksiin liittyviä oletusarvoja.

Lietteen kuivaus ka-pitoisuuteen	20 %	30 %	yksikkö
Kuivauksen energiankulutus	684 986	753 484	kWh/a
P-pitoisuus	4,3	6,4	kg/t,lietettä
N-liukoinen	1,3	2,0	kg/t,lietettä

Taulukossa 2 on esitetty energiankulutuksen määrä, joka tarvitaan, jos TSP:lle palautuu lietteenkäsittelystä kokonaistyyppä. Laskentamalliin tulee syöttää kokonaistyyppimäärä 0-100% ja laskentamalli laskee energiankulutuksen taulukon 2 arvoihin perustuen ja olettaen kulutuksen olevan lineaarinen. Tällöin energiankulutus on 12,2 kWh/% kokonaistyyppä.

Taulukko 2. TSP:lle palautuvan rejektiveden määrän vaikutus energiankulutukseen.

Paluulietteen määrä	0 %	25 %	50 %	yksikkö
Ilmastuksen energiankulutus	0	305,1	610,2	kWh/päivä

3.1.2. Energiantuotannon päästölaskenta

Energiantuotannon päästökertoimet ja laskenta on esitetty laskentamallin apuvälilehdellä "Energiantuotanto_Päästölaskenta". Verkkosähkön ja kaukolämmön päästökertoimet perustuvat Motivan ohjeistukseen (Motiva, 2015). Motivan päästökertoimet sisältävät ainoastaan CO₂-päästöt. Biokaasulla tuotetun energian bioperäisiä CO₂-päästöjä ei sisällytetä ilmastonmuutosvaikutukseen, joten sen kerroin on 0. Turun seudun puhdistamolla käytettävälle sähkölle käytetään TSP:n omaa sähkön päästökerrointa. (Taulukko 3).

Taulukko 3. Energiantuotannon päästökertoimet.

Energiantuotanto	Oletukset	CO ₂ -päästökerroin, sähkö [kg MWh ⁻¹]	CO ₂ -päästökerroin, lämpö [kg MWh ⁻¹]
Verkkosähkö	Suomen keskimääräinen sähköntuotanto	220	
Kaukolämpö			186
TSP-sähkö		246	
CHP-biokaasu		0	0

3.1.3. Kuljetukset

Kuljetusten osalta laskentaan on sisällytetty jätevesilietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokselle sekä mädätysjäännöksestä syntyneiden tuotosten kuljetus loppukäyttöön. Laskentamallissa määritellään kuljetusmatkat, kuljetuskalusto sekä kuljetuskaluston polttoaine. Kuljetusten päästökertoimet

perustuvat LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästötietoihin (Lipasto), joka huomioi käytetyn kuljetuskaluston ja kuorman. Dieselin ja maakaasun valmistuksen päästöt perustuvat Ecoinvent v. 3.0 –tietokantaan (Ecoinvent) ja ne on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Kuljetukset” sekä taulukossa 4. Biokaasun tuotannon päästökertoimena käytetään tällä laskentamallilla laskettua kerrointa. Luku pitää päivittää välilehdellä ”Kuljetukset”, kirjoittamalla käsin luku solusta F40 soluun D36. Käsittelyjäännöksen tuotosten kuljetuksessa voidaan käyttää traktoria+perävaunua, jonka päästökertoimet perustuvat Ecoinvent-tietokannan prosessiin ”Transport, tractor and trailer/CH U”. Tämä prosessi sisältää sekä suorat päästöt ajosta että dieselin valmistuksen päästöt. Tämän takia traktorin käyttö ei näy energiataseessa. Sen vaikutus kokonaisenergiataseeseen olisi joka tapauksessa hyvin pieni.

Taulukko 4. Polttoaineen valmistuksen päästökertoimet.

	CO ₂ -ekv	yksikkö
Maakaasun valmistus	0,029	kg/MJ
Dieselin valmistus	0,015	kg/MJ
Biokaasun valmistus	n. 0,028 (päivitettävä tarvittaessa)	kg/MJ
Traktori + perävaunu	0,308	kg/tkm

3.1.4. Biokaasun loppukäyttö

Laskentamallissa lietteestä tuotettu metaanin määrä biokaasulaitoksessa oletetaan olevan 325 m³/t, VS (Luostarinen et al. 2011). Lietteen orgaanisen aineksen määräksi saatiin 73 % kuiva-aineesta, joka laskettiin kaavalla

$$TVS = X - Y, \text{ missä}$$

TVS = orgaanisen aineksen pitoisuus kuiva-aineessa

X = lietteen kuiva-aineen määrä (10 000 t)

Y = lietteen hehkutusjäännöksen määrä (2 700 t).

Laskentamalli huomioi ainoastaan jätevesilietteestä tuotetun biokaasun määrän (oletusarvo). Jos biokaasulaitoksella käsitellään jätevesilietteen lisäksi muitakin massoja, tulee se ilmoittaa lähtötietojen dokumentoinnissa ja lisäksi ilmoittaa, mikä on yhteismädätyksestä saatava biokaasun määrä tonnia käsiteltävää massaa kohti.

Tuotettu biokaasu voidaan käyttää eri sovelluksissa. Laskentamallissa voidaan määrittää, onko loppukäyttökohde liikennepolttoaine, CHP-tuotanto, lämmöntuotanto vai teollisuus. Laskentamalli olettaa kolmelle ensimmäiselle vaihtoehdolle korvattavan polttoaineen, joka perustuu tilastoihin ja olettaen, että biokaasulla pyritään korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Taulukossa 5 on esitetty biokaasun eri loppukäyttövaihtoehdot sekä polttoaineet ja niiden prosentuaaliset korvattavat osuudet. Jos biokaasu käytetään teollisuudessa, tulee määrittää tarkemmin, mitä polttoainetta oletetaan korvattavan.

Taulukko 5. Biokaasun loppukäyttökohteet ja korvattavat polttoaineet

Loppukäyttökohteet	Mitä polttoainetta voi korvata	Käytetty lähde tehdyille oletukselle
Liikennepolttoaine	diesel 63,03 % , bensa 36,9 % , maakaasu 0,08 %	Suomen virallinen tilasto (SVT)
CHP-tuotanto	maakaasu 45 % , kivihiili 51 % , kevyt polttoöljy 4 %	Energiatieteellisyys
Lämmöntuotanto	maakaasu 45 % , kivihiili 51 % , kevyt polttoöljy 4 %	Energiatieteellisyys
Teollisuus	maakaasu, kivihiili, kevyt polttoöljy, butaani	

Laskentamallissa voidaan laskea, kuinka paljon CO₂-päästöjä voidaan välttää, kun biokaasulla korvataan Taulukossa 5 esitettyjä polttoaineita. Vältettävät CO₂-päästöt perustuvat tuotannon osalta Ecoinvent-tietokantaan ja suorien päästöjen osalta Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen päästökertoimiin (Taulukko 6). Tuotannon päästöt sisältävät CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt. Suorat päästöt sisältävät ainoastaan CO₂-päästön.

Taulukko 6. Biokaasun loppukäyttö ja korvattavat polttoaineet.

Korvattava polttoaine	Tuotannon päästö	Polton suora päästö	Yhteensä	Yksikkö
Diesel	0,015	0,066	0,080	kg/MJ
Maakaasu	0,029	0,055	0,084	kg/MJ
Bensa	0,020	0,069	0,089	kg/MJ
Kevyt polttoöljy	0,013	0,074	0,087	kg/MJ
Butaani	0,018	0,030	0,048	kg/MJ
Kivihiili	0,014	0,093	0,107	kg/MJ
Liikennepolttoaine keskimäärin	0,017	0,067	0,084	kg/MJ
CHP/lämmöntuotanto keskimäärin	0,021	0,075	0,096	kg/MJ

3.1.5. Lannoitehyvitykset

Biokaasun mädätysjäännöksellä tai siitä jalostetuilla tuotteilla voidaan korvata lannoitevalmisteita. Korvattavien lannoitevalmisteiden määrä on laskettu perustuen jätevesilietteen liukoiseen typpi- ja kokonaisfosforipitoisuuksiin. Laskennassa on lisäksi tehty oletus, että liukoisen typen määrä kolminkertaistuu biokaasuprosessin aikana. Tämä oletus perustuu toimijoiden tietoihin. Lannoitevalmisteiden vältettävien päästöjen laskennassa on käytetty Ecoinvent-tietokannan tietoja forforilannoitteelle ja Yaran tietoja typpilannoitteelle. Ne sisältävät CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt (Taulukko 7). Vältettävien lannoitevalmisteiden määrät sekä niistä saatavat vältetyt päästöt ovat maksimimäärä, joka voidaan saavuttaa. Päästökertoimet sekä lannoitehyvityslaskenta on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Lannoitehyvitykset”.

Taulukko 7. Epäorgaanisten lannoitteiden CO₂-ekvivalenttipäästöt.

Lannoitevalmiste	CO ₂ -ekv.	Yksikkö
Yara, typpilannoite	3,7	kg/kg
Diammoniumfosfaatti	1,57	kg/kg

3.1.6. Tulokset

Tulossivu on jaettu kolmeen osaan

1) Energiatase

Energiataseessa on kuvattu jätevesilietteen käsittelyn kuluttama energia jaettuna eri elinkaarivaiheisiin. Kuljetusten osalta on laskettu kuljetuksiin kulutetun polttoaineen energiasisältö. Lisäksi on laskettu tuotetun biokaasun energiasisältö. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksin.

2) Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonepäästölaskennan osalta osa prosesseista sisältää CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt, mutta osa prosesseista ainoastaan CO₂-päästöt. Käytetyt päästökertoimet on kuvattu tarkemmin edellisissä kappaleissa. Päästöt on jaoteltu TSP:lla käytettävän sähköntuotannon päästöihin, loppukäsittelyketjun energiantuotannon päästöihin, jätevesilietteen ja tuotosten kuljetuksista aiheutuviin päästöihin sekä vältettäviin päästöihin, joita saadaan, kun tuotetulla biokaasulla korvataan muita polttoaineita ja lietteen sisältämällä ravinteilla korvataan epäorgaanisia lannoitevalmisteita. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksin.

3) Puhdistamolietteen sisältämät ravinnemäärät

Kasvihuonekaasutaselaskennassa on laskettu vältettyjen päästöjen määrä, jotka perustuvat epäorgaanisten lannoitteiden valmistuksen kasvihuonekaasupäästöihin. Korvattavat määrät on laskettu puhdistamolietteen sisältämiin ravinnepitoisuuksiin perustuen. Tässä tulossiossa on esitetty puhdistamolietteen sisältämät ravinnepitoisuudet. Typpilannoitteen korvattavuusmäärä perustuu puhdistamolietteen liukoisen typen määrään. Puhdistamolietteen oletetaan korvaavan typpilannoitteena kalsium-ammoniumnitraattilannoitetta. Fosforin osalta korvattavuus perustuu lietteen kokonaisfosforipitoisuuteen. Puhdistamolietteen oletetaan korvaavan fosforilannoitteena diammoniumfosfaattia. Laskenta esittää maksimimäärän, joka lannoitetuotteita voidaan korvata perustuen lietteen ravinnepitoisuuksiin. Laskenta ei siis ota huomioon, kuinka paljon mädätysjäännöstä tai siitä jalostettuja lannoitetuotteita todellisuudessa korvataan.

3.2. Esimerkkilaskennan tulokset

3.2.1. Käytetyt laskentaoletukset

Esimerkkilaskennan tulokset perustuvat lietteen käsittelijöiltä saatujen tietojen arvioituihin keskiarvoihin sekä Turun seudun puhdistamon kanssa käytyihin keskusteluihin. Esimerkkilaskenta tehtiin seuraavilla oletuksilla:

TSP-toimintaan liittyvät oletukset:

- lietteen kuivauksen energiankulutusta ei sisällytetä laskentaan, jos liete kuivataan 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Jos liete kuivataan 30%:n kuiva-ainepitoisuuteen, sisällytetään laskentaan tarvittava lisäenergia 68498 kWh/vuodessa.
- esimerkkilaskennassa oletuksena on, että TSP:lle tai muulle puhdistamolle ei palaudu kokonaistyyppä paluulietteen mukana.

Lietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokseen:

- minimikuljetusmatka 10 km
- maksimikuljetusmatka 100 km
- kuljetuksesta kaupunkiajoa 10 km
- kuljetuskalustona täysperävaunu, jonka kuorma 40 t ja polttoaine diesel

Käsittelyketjun energiankulutus ja -tuotantotapa:

- sähkönkulutus 49 kWh/t, lietettä, joka on verkkosähköä
- lämmönkulutus 110 kWh/t, lietettä, joka on kaukolämpöä

Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen

- kuiva-ainepitoisuudeltaan 20 % lietteestä tuotetaan biokaasua 70 m³/t, lietettä, jonka metaanipitoisuus on 65 %
- biokaasun hyödyntäminen ja korvattu polttoaine
 - liikennepolttoaine 33,33 %, korvataan dieseliä
 - CHP-tuotanto 33,33 %, korvataan kivihiiltä
 - lämmöntuotanto 33,33 %, korvataan kevyttä polttoöljyä

Mädätysjäännöksen käsittely ja kuljetus

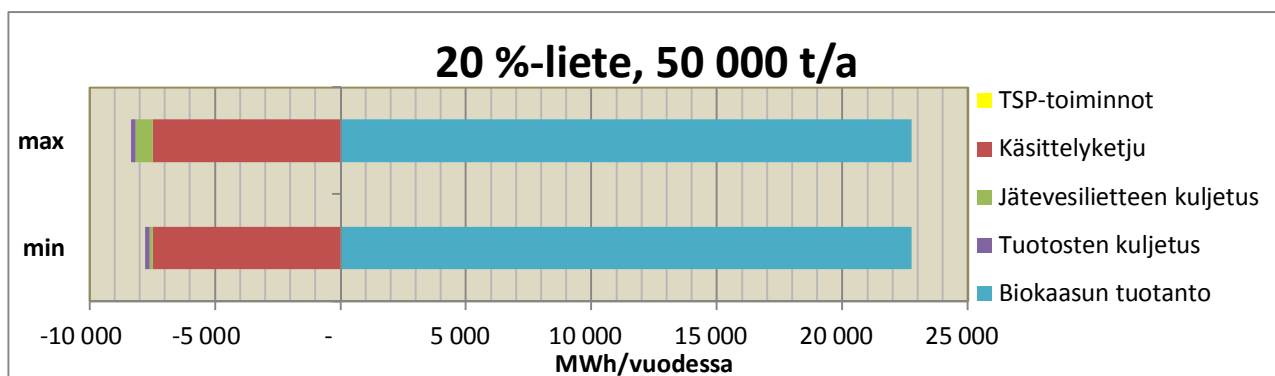
- oletetaan, että mädätysjäännöstä syntyy 1 t/t, lietettä ja se kuljetetaan 20 km:n päähän. Kuljetusmatkasta 10 km on kaupunkiajoa.
- kuljetuskalustona täysperävaunu, jonka kuorma 40 t ja polttoaine diesel

3.2.2. Esimerkkilaskennan tulokset

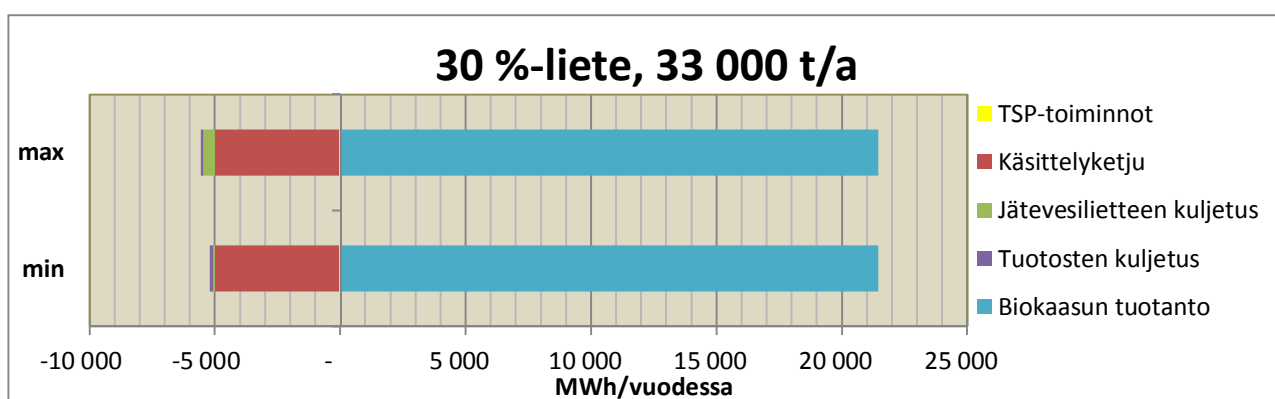
Johtuen käytetyistä lähtöoletuksista, ainoa ero minimi- ja maksimitulosten välille syntyy jätevesilietteen kuljetusmatkan vaihtelusta. 20- ja 30 –prosenttisten lietteiden välillä eroa syntyy TSP:n tarvitsemasta lisäenergiasta, kun liete kuivataan 20 %-kuiva-ainepitoisuuden sijaan 30 %-kuiva-ainepitoisuuteen.

Energiatase

Energiataselaskennan tulokuviaajat on esitetty Kuvassa 1 (20 %-liete) ja Kuvassa 2 (30 %-liete).



Kuva 1. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 20 %-liete.

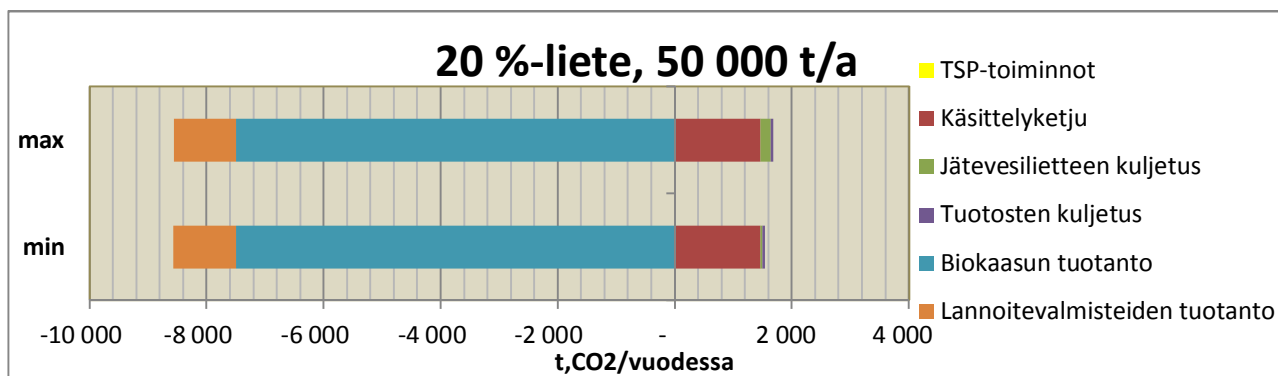


Kuva 2. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 30 %-liete.

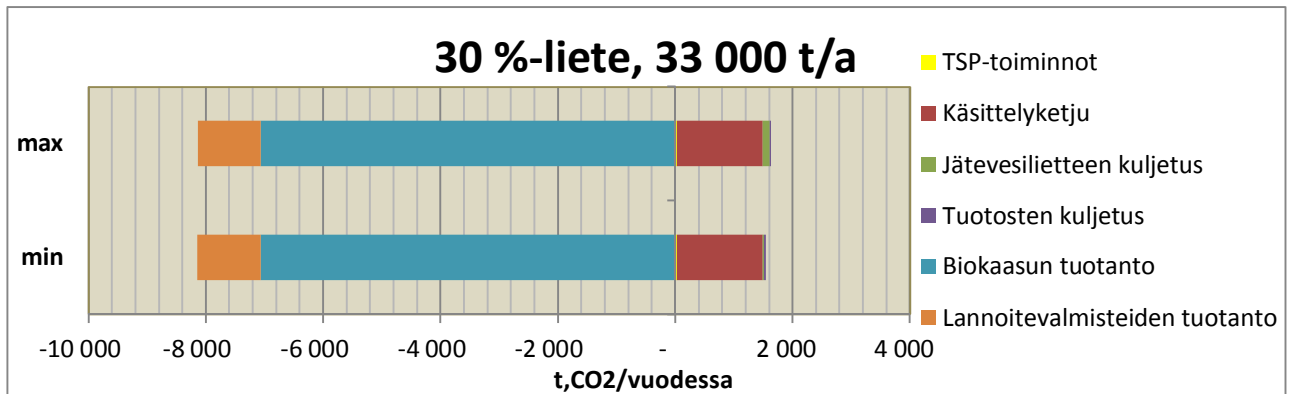
Energiataseelaskennan tulosten mukaan, lietteen käsittely biokaasulaitoksella tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Lietteestä saatava energia voi toki vaihdella prosessin tehokkuuden mukaan, mutta keskimäärin biokaasusta saatava energia pysyy vakiona. Energiataseesta nähdään, että käsittelyketjuun kuluu huomattavasti enemmän energiaa kuin lietteen ja tuotosten kuljetuksiin. On myös huomioitava, että mitä enemmän mädätysjäännöstä lähdetään jalostamaan, sitä enemmän energiaa todennäköisesti kuluu. Biokaasun tuotannon energiataseeseen vaikuttaessa päähuomio kannattaa siten keskittää koko käsittelyketjun energiakulutuksen tehostamiseen.

Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasupäästöjen tulokkuvaaja on esitetty Kuvassa 3 (20 %-liete) ja Kuvassa 4 (30 %-liete) .



Kuva 3. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 20 %-liete.



Kuva 4. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 30 %-liete.

Kasvihuonekaasupäästötasetta tarkasteltaessa voidaan todeta, että taseeseen vaikuttaa merkittävästi, mitä polttoainetta tuotetulla biokaasulla korvataan. Esimerkkilaskennassa biokaasun on oletettu korvaavan fossiilisia polttoaineita, jolloin vältettäviä päästöjä saadaan enemmän kuin mitä saataisiin korvattaessa uusiutuvia energialähteitä. Laskennassa on huomioitu myös, kuinka paljon kasvihuonekaasuja voidaan välttää, jos korvataan mineraalilannoitteiden tuotantoa. Laskenta perustuu lannoitekorvaavuuden osalta lietteen ravinnesisältöön eikä se ota kantaa missä muodossa mädätysjäännöksestä tuotetut lannoitevalmisteet ovat.

Tuotettujen kasvihuonekaasupäästöjen osalta käsittelyketjussa käytettävällä energialla voidaan vaikuttaa selkeimmin kasvihuonekaasupäästötaseeseen. Tässä esimerkkilaskennassa on käytetty energialähteinä verkkosähköä ja kaukolämpöä, joten käyttämällä uusiutuvia energialähteitä, kasvihuonekaasutasetta voitaisiin parantaa ja vastaavasti käyttämällä esimerkiksi pelkkää kivihiilellä tuotettua energiaa, tase huonontuisi. Käyttämällä kuljetuskaluston polttoaineena esimerkiksi biokaasua, olisivat kuljetus kasvihuonekaasupäästöt 0.

4. Laskentamalli 2. Lietteen poltto

Lietteen polton laskentamalli perustuu toimijoilta saatuihin tietoihin sekä kirjallisuuteen.

4.1. Lähtötiedot ja oletukset

4.1.1. Turun seudun puhdistamon toiminta

Turun seudun puhdistamon toimintaan liittyvät tiedot on saatu TSP:ltä. Laskentamalli huomioi puhdistamon lietteen kuivaukseen kuluvaan energian, kuiva-ainepitoisuuteen 20 % ja 30 %. Lisäksi laskentamalli huomioi ilmastuksen energiankulutuksen, joka riippuu puhdistamolle toimitettavasta paluulietteen kokonaistyyppimäärästä. Kokonaistypen arvioitu määrä täytetään myös silloin, jos puhdistamolietettä palautuu jollekin muulle puhdistamolle kuin TSP:lle, jolloin puhdistamotoimintaan liittyvät vaikutukset tulee huomioida. Taulukossa 8 on esitetty TSP:ltä saadut lähtötiedot, jotka voidaan syöttää oletusarvoiksi. Laskentamallissa lietteen kuivaus 20 % kuiva-ainepitoisuuteen oletetaan referenssitasoksi ja sen energiankulutukseksi syötetään 0 ja ainoastaan lisäenergiatarve, jos liete kuivataan 30 % kuiva-ainepitoisuuteen, huomioidaan. Taulukon 8 kuivauksen energiankulutuksen erotusten mukaisesti lisäenergiatarve on 68 498 kWh/vuodessa.

Taulukko 8. TSP:n toimintaan ja lietteen ominaisuuksiin liittyviä oletusarvoja.

Lietteen kuivaus ka-pitoisuuteen	20 %	30 %	yksikkö
Kuivauksen energiankulutus	684 986	753 484	kWh/a
P-pitoisuus	4,3	6,4	kg/t,lietettä
N-liukoinen	1,3	2,0	kg/t,lietettä

Taulukossa 9 on esitetty energiankulutuksen määrä, joka tarvitaan, jos TSP:lle palautuu lietteenkäsittelystä kokonaistyyppiä. Laskentamalliin tulee syöttää kokonaistypen määrä 0-100% ja laskentamalli laskee energiankulutuksen taulukon 9 arvoin perustuen ja olettaen kulutuksen olevan lineaarinen. Tällöin energiankulutus on 12,2 kWh/% kokonaistyyppiä.

Taulukko 9. TSP:lle palautuvan rejektiveden määrän vaikutus energiankulutukseen.

Paluulietteen määrä	0 %	25 %	50 %	yksikkö
Ilmastuksen energiankulutus	0	305,1	610,2	kWh/päivä

4.1.2. Energiantuotannon päästölaskenta

Energiantuotannon päästökertoimet ja laskenta on esitetty laskentamallin apuvälilehdellä "Energiantuotanto_Päästölaskenta". Polttoprosessissa käytetään sähköä termisen kuivauksen yhteydessä. Muuten käytetään apupolttoaineena kevyttä polttoöljyä ja maakaasua. Verkkosähkön päästökerroin perustuu Motivan ohjeistukseen (Motiva, 2015). Motivan päästökertoimet sisältävät ainoastaan CO₂-päästöt. Turun seudun puhdistamolla käytettävälle sähkölle käytetään TSP:n omaa

sähkönpäästökertointa. Kevyen polttoöljyn ja maakaasun päästökertoimet perustuvat Ecoinvent-tietokannan tietoihin. (Taulukko 10). Jos polttolaitoksessa tuotettua sähköä käytetään käsittelyketjussa energialähteenä, on sen CO₂-kerroin 0, koska lietteen CO₂-päästöt ovat bioperäisiä.

Taulukko 10. Energiantuotannon päästökertoimet.

Energiantuotanto	Oletukset	CO ₂ -päästökerroin,	yksikkö
Verkkosähkö	Suomen keskimääräinen sähköntuotanto	220	kg/MWh
TSP-sähkö		246	kg/MWh
Lämpö, kevyt polttoöljy	terminen kuivaus	0,093	kg/MJ,öljyä
Maakaasu	apupolttoaine polttoprosessi	0,084	kg/MJ,maakaasua

4.1.3. Kuljetukset

Kuljetusten osalta laskentaan on sisällytetty jätevesilietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokselle sekä tuhkien kuljetus loppukäyttöön. Laskentamallissa määritellään kuljetusmatkat, kuljetuskalusto sekä kuljetuskaluston polttoaine. Kuljetusten päästökertoimet perustuvat LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästötietoihin (Lipasto), joka huomioi käytetyn kuljetuskaluston ja kuorman. Dieselin ja maakaasun valmistuksen päästöt perustuvat Ecoinvent v. 3.0 –tietokantaan (Ecoinvent) ja ne on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Kuljetukset” sekä taulukossa 11. Biokaasun tuotannon päästökertoimena käytetään biokaasun tuotanto -laskentamallilla laskettua kerrointa. Luku pitää päivittää Poltto-laskentamallin välilehdellä ”Kuljetukset”, kirjoittamalla käsin Biokaasun tuotanto-laskentamallista välilehdeltä ”Kuljetukset” luku solusta F40 soluun D33 Poltto-laskentamallissa.

Taulukko 11. Polttoaineen valmistuksen päästökertoimet.

	CO ₂ -ekv	yksikkö
Maakaasun valmistus	0,029	kg/MJ
Dieselin valmistus	0,015	kg/MJ
Biokaasun valmistus	n. 0,028 (päivitettävä tarvittaessa)	kg/MJ

4.1.4. Lietteen polttoprosessi

Lietteen polttoprosessissa on kaksi vaihtoehtoa: 1. lietteen terminen kuivaus ja poltto tai 2. lietteen poltto ilman termistä kuivausta. Lietteen polttoprosessin CO₂-päästöt ovat bioperäisiä, eikä niiden oleteta aiheuttavan ilmastomuutosvaikutusta. CH₄- ja N₂O-päästöt on sisällytetty tarkasteluun. Laskennassa oletusarvoina käytetyt lähtötiedot on esitetty Taulukossa 12.

Taulukko 12. Lietteen termisen kuivauksen ja polttoprosessin tietoja

	Määrä	Yksikkö	Lähde
Terminen kuivaus			
sähkönkulutus	424	kWh/t,TS	Myllymaa et al. 2008
kevyt polttoöljy	51,1	kg/t,lietettä	Myllymaa et al. 2008
lietteen kuiva-ainepitoisuus ennen polttoa	83 %		Myllymaa et al. 2008
lietteen energiasisältö ennen polttoa	18	GJ/t,TS	Myllymaa et al. 2008
Poltto ilman termistä kuivausta			

apupolttoaine, 20 % liete	461	kWh/t,lietettä	Houdkova et al. 2008
apupolttoaine, 30 % liete	330	kWh/t,lietettä	Houdkova et al. 2008
lietteen energiasisältö ennen polttoa	15	GJ/t,TS	Houdkova et al. 2008
CH ₄ -päästö polttoprosessista	1,6	kg/t,lietettä	Myllymaa et al. 2008
N ₂ O-päästö polttoprosessista	0,0411	kg/t,lietettä	Myllymaa et al. 2008

Oletus on, että termisesti kuivattu liete ei kuluta energiaa varsinaisen polttoprosessin aikana. Polttoprosessissa oletetaan tuotettavan sähköä ja lämpöä hyötysuhteella 83 %, josta sähköä tuotetaan 20 % ja lämpöä 80 %. Tulosten tarkastelussa on huomioitava, että tuotettua lämpöä ei välttämättä saada hyödynnettyä kokonaan, jolloin korvattavasta lämmöntuotannosta saatavat vältettävät päästöt pienenevät.

4.1.5. Lannoitehyvitykset

Lietteen käsittelijän mukaan, polttoprosessista syntyvä tuhka voidaan toimittaa joko kaatopaikalle tai käyttää lannoitteena. Lannoitetuotteena pystytään hyödyntämään tuhkan sisältämä fosfori, mutta typpi menetetään. Laskentamallissa voidaan valita tuhkan loppukäyttökohde. Jos tuhka hyödynnetään lannoitteena, korvattavien lannoitevalmisteiden määrä on laskettu perustuen jätevesilietteen kokonaisfosforipitoisuuteen. Lannoitevalmisteiden vältettävien päästöjen laskennassa on käytetty Ecoinvent-tietokannan tietoihin ja ne sisältävät CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt (Taulukko 13). Vältettävien lannoitevalmisteiden määrät sekä niistä saatavat vältetyt päästöt ovat maksimimäärä, joka voidaan saavuttaa. Päästökertoimet sekä lannoitehyvityslaskenta on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Lannoitehyvitykset”.

Taulukko 13. Epäorgaanisten lannoitteiden CO₂-ekvivalenttipäästöt.

Lannoitevalmiste	CO ₂ -ekv.	Yksikkö
Diammoniumfosfaatti	1,57	kg/kg

4.1.6. Tulokset

Tulossivu on jaettu kolmeen osaan

1) Energiatase

Energiataseessa on kuvattu jätevesilietteen käsittelyn kuluttama energia jaettuna eri elinkaarivaiheisiin. Kuljetusten osalta on laskettu kuljetuksiin kulutetun polttoaineen energiasisältö. Tuotetun energian osalta on laskettu biokaasumallin tavoin ainoastaan lietteen energiasisällön potentiaali. Energiataseessa ei oteta huomioon hyötysuhdetta, kun poltossa tuotetulla energialla tuotetaan esimerkiksi sähköä ja lämpöä. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksin.

2) Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonepäästölaskennan osalta osa prosesseista sisältää CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt, mutta osa prosesseista ainoastaan CO₂-päästöt. Käytetyt päästökertoimet on kuvattu tarkemmin edellisissä kappaleissa. Päästöt on jaoteltu TSP:lla käytettävän sähköntuotannon



päästöihin, loppukäsittelyketjun energiantuotannon päästöihin, jätevesilietteen ja tuhkan kuljetuksista aiheutuviin päästöihin sekä vältettäviin päästöihin, joita saadaan, kun lietteen poltossa saatavalla energialla tuotetaan sähköä ja lämpöä ja korvataan keskimääräistä sähkön ja kaukolämmön tuotantoa ja lietteen sisältämällä ravinteille korvataan epäorgaanisia lannoitevalmisteita. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksin.

3) Puhdistamolietteen sisältämät ravinnemäärät

Kasvihuonekaasutaselaskennassa on laskettu vältettyjen päästöjen määrä, jotka perustuvat epäorgaanisten lannoitteiden valmistuksen kasvihuonekaasupäästöihin. Korvattavat määrät on laskettu perustuen puhdistamolietteen sisältämiin ravinnepitoisuuksiin perustuen. Tässä tulossiossa on esitetty puhdistamolietteen sisältämät ravinnepitoisuudet. Jos laskentamallissa on valittu, että tuhka käytetään lannoitetuotteena, näytetään tulossivulla, kuinka paljon fosforia liete sisältää ja kuinka paljon fosforilannoitetta voidaan siten korvata. Fosforin osalta korvattavuus perustuu lietteen kokonaisfosforipitoisuuteen. Puhdistamolietteen oletetaan korvaavan fosforilannoitteena diammoniumfosfaattia. Laskenta esittää maksimimäärän, joka lannoitetuotteita voidaan korvata perustuen lietteen ravinnepitoisuuksiin. Laskenta ei siis ota huomioon, korvaako tuhkan sisältämä fosfori 100 % epäorgaanisia lannoitetuotteita.

4.2. Esimerkkilaskennan tulokset

4.2.1. Käytetyt laskentaoletukset

Esimerkkilaskennassa käytettiin lietteen käsittelijöiltä sekä kirjallisuudesta saatuja tietoja. Esimerkkilaskenta tehtiin seuraavilla oletuksilla:

TSP:toimintaan liittyvät oletukset:

- lietteen kuivauksen energiankulutusta ei sisällytetä laskentaan, jos liete kuivataan 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Jos liete kuivataan 30%:n kuiva-ainepitoisuuteen, sisällytetään laskentaan tarvittava lisäenergia 68498 kWh/vuodessa.
- esimerkkilaskennassa oletuksena on, että TSP:lle tai muulle puhdistamolite ei palaudu kokonaistyyppä paluulietteen mukana.

Lietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokseen:

- minimikuljetusmatka 10 km
- maksimikuljetusmatka 100 km
- kuljetuksesta kaupunkiajoa 10 km
- kuljetuskalustona täysperävaunu, jonka kuorma 40 t ja polttoaine diesel

Käsittelyketjun energiankulutus ja –tuotantotapa

Terminen kuivaus ja poltto

- sähkönkulutus 424 kWh/t, lietettä, joka on verkkosähköä
- kevyt polttoöljy 51 kg/t, lietettä

Polttoprosessista saatavan energian hyödyntäminen

- polttoprosessista saatavalla energialla tuotetaan sähköä ja lämpöä. Käytetyt parametrit:
 - energiantuotannon hyötysuhde 83 %
 - tuotetusta energiasta sähköä 20 %
 - tuotetusta energiasta lämpöä 80 %

Tuhkan hyödyntäminen

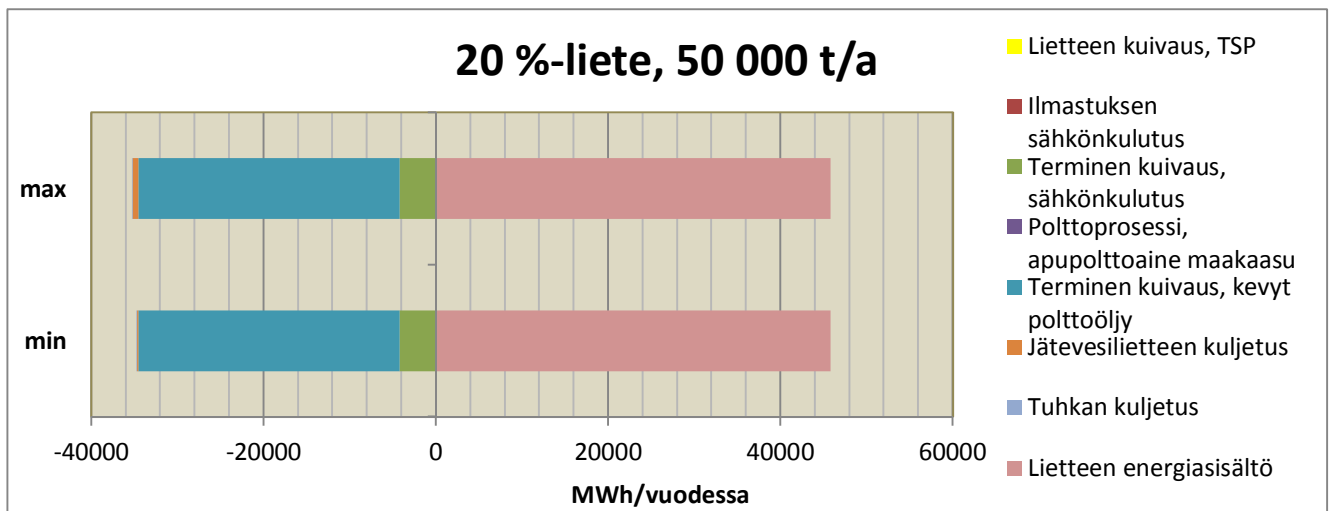
- oletetaan, että tuotetuhka hyödynnetään lannoitevalmisteena ja sitä syntyy 0,6 t/t,lietettä (20 %-liete) ja se kuljetetaan 20 km:n päähän. Kuljetusmatkasta 10 km on kaupunkiajoa.
- sivutuotetuhkaa syntyy 0,003 t/t,lietettä (20 %-liete) ja se kuljetetaan 20 km:n päähän. Kuljetusmatkasta 10 km on kaupunkiajoa.
- kuljetuskalustona täysperävaunu, jonka kuorma 40 t ja polttoaine diesel

4.2.2. Esimerkkilaskennan tulokset

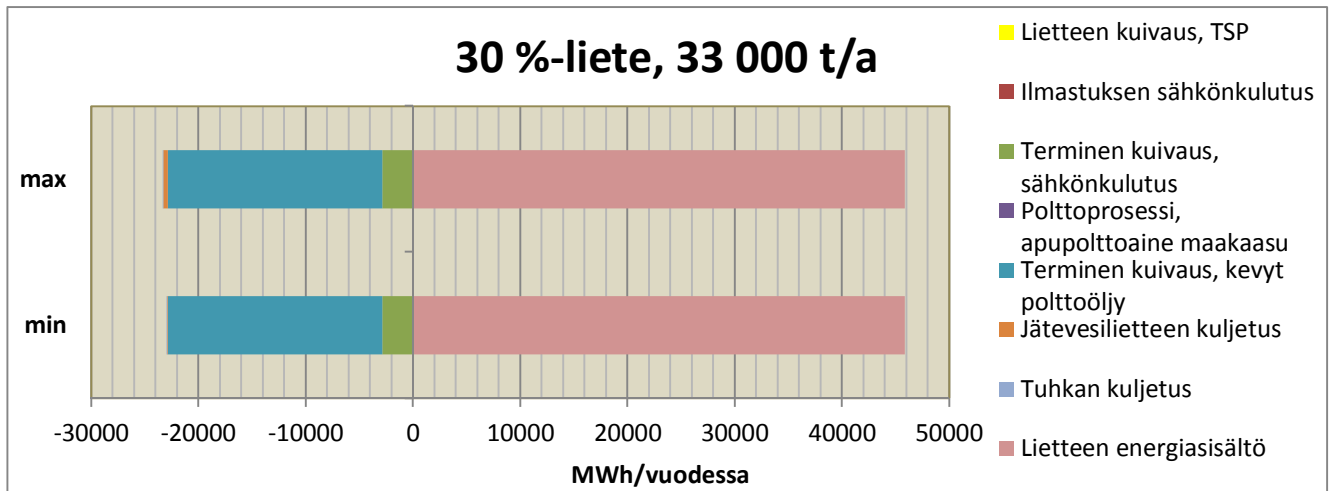
Johtuen käytetyistä lähtöoletuksista, ainoa ero minimi- ja maksimitulosten välille syntyy jätevesilietteen kuljetusmatkan vaihtelusta. 20- ja 30 –prosenttisten lietteiden välillä eroa syntyy TSP:n tarvitsemasta lisäenergiasta, kun liete kuivataan 20 %-kuiva-ainepitoisuuden sijaan 30 %-kuiva-ainepitoisuuteen.

Energiatase

Energiataselaskennan tuloksuvaajat on esitetty Kuvassa 5 (20 %-liete) ja Kuvassa 6 (30 %-liete).



Kuva 5. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 20 %-liete.

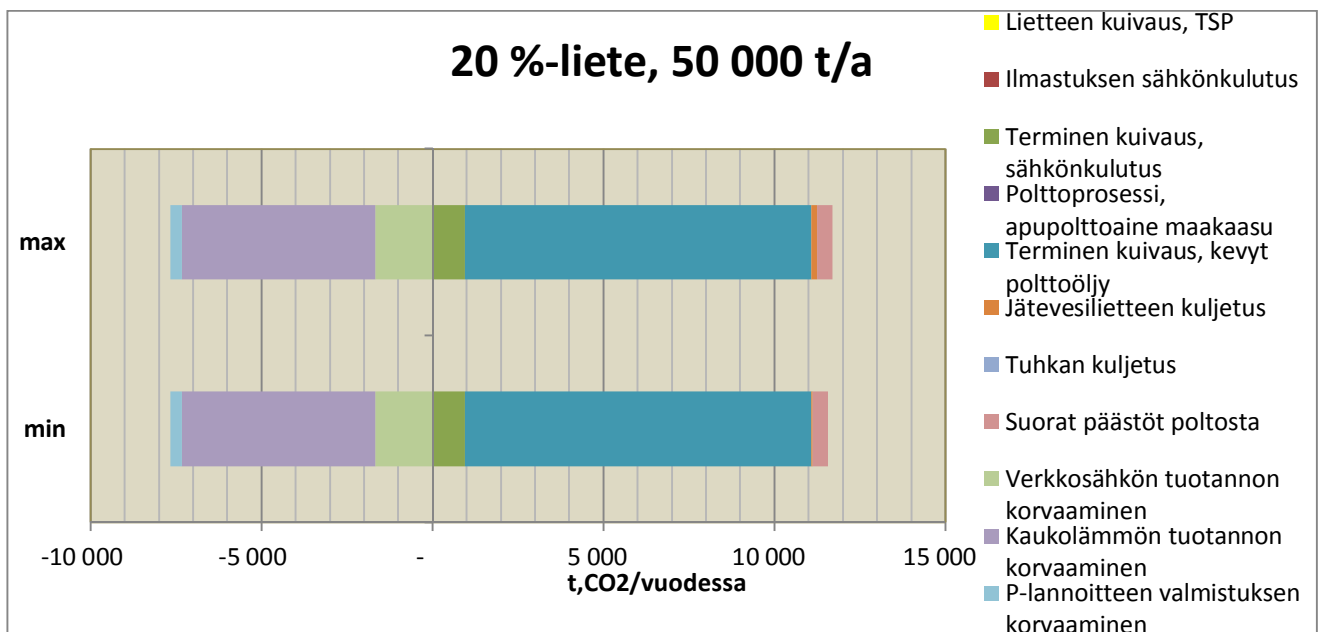


Kuva 6. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 30 %-liete.

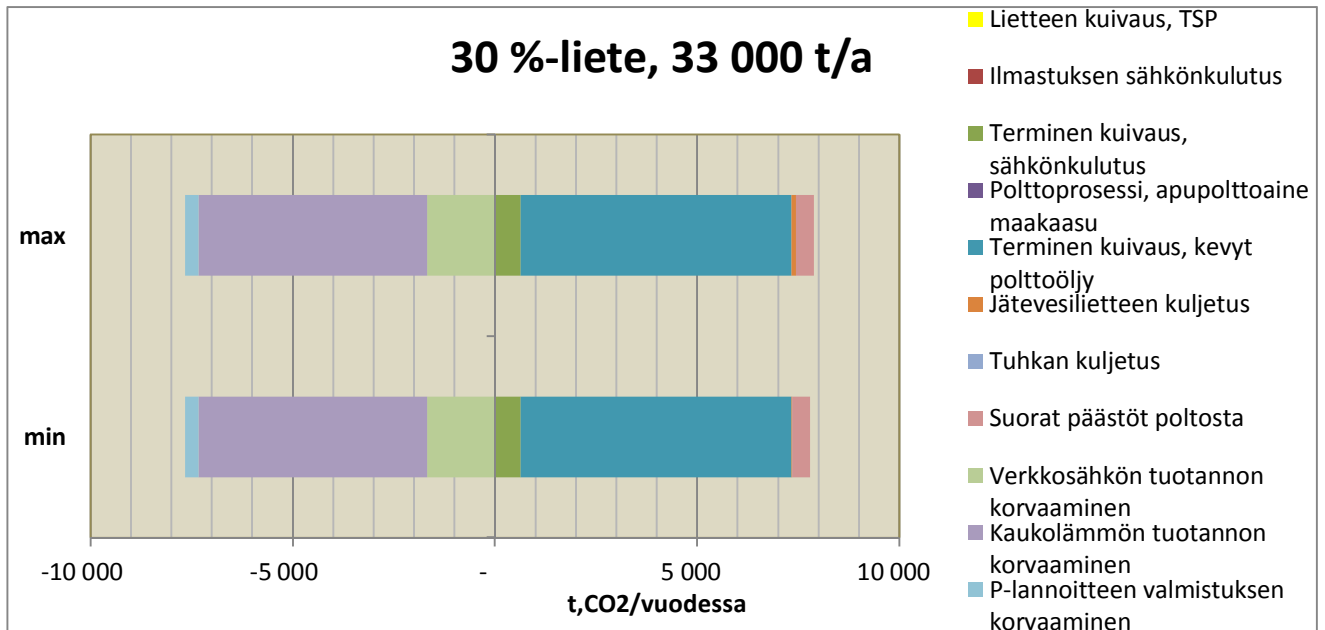
Energiataseelaskennan mukaan, lietteen polttaminen tuottaa enemmän energiaa kuin se kuluttaa. Lietteiden terminen kuivaus kuluttaa sekä sähköä että kevyttä polttoöljyä. Lietteiden energiasisältö esittää siis kuivatun lietteen energiasisältöä, mutta ei ota vielä huomioon, mitä miten tuotettu energia hyödynnetään (esim. sähkön- ja lämmöntuotanto).

Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasupäästöjen tuloksuvaaja on esitetty Kuvassa 7 (20 %-liete) ja Kuvassa 8 (30 %-liete).



Kuva 7. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 20 %-liete.



Kuva 8. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 30 %-liete.

Kasvihuonekaasupäästöjen osalta voidaan todeta, että 20 %:lla lietteellä tuotetut päästöt ovat suurempia kuin vältetyt päästöt. 30 %:lla lietteellä tuotetut ja vältetyt päästöt ovat samaa suuruusluokkaa. Tuloksien analysoinnissa on huomioitava, että termisen kuivauksen polttoaineena on käytetty fossiilista kevyttä polttoöljyä. Uusiutuvien energialähteiden käyttäminen energialähteenä parantaisi kasvihuonekaasupäästöasetta huomattavasti. Laskennassa on oletettu korvattavan keskimääräistä sähköntuotantoa ja kaukolämpöä, mutta tuotetulla energialla voitaisiin korvata myös yksittäisillä energialähteillä tuotettua sähköä ja lämpöä, jolloin tarkastelu pitäisi tehdä uudelleen. Esimerkkilaskennassa tuhka oletetaan käytettävän lannoitetuotteena, jolloin puhdistamolietteen fosfori saadaan hyödynnettyä. Tuhka voidaan sijoittaa myös kaatopaikalle, jolloin kaikki puhdistamolietteen ravinteet menetetään.

5. Laskentamalli 3. Lietteen kompostointi

Lietteen kompostoinnin laskentamalli perustuu toimijoilta saatuihin tietoihin täydennettynä kirjallisuustiedoilla.

5.1. Lähtötiedot ja oletukset

5.1.1. Turun seudun puhdistamon toiminta

Turun seudun puhdistamon toimintaan liittyvät tiedot on saatu TSP:ltä. Laskentamalli huomioi puhdistamon lietteen kuivaukseen kuluvaan energian, kuiva-ainepitoisuuteen 20 % ja 30 %. Lisäksi laskentamalli huomioi ilmastuksen energiankulutuksen, joka riippuu puhdistamolle toimitettavasta paluulietteen kokonaistyyppimäärästä. Kokonaistypen arvioitu määrä täytetään myös silloin, jos puhdistamolietettä palautuu jollekin muulle puhdistamolle kuin TSP:lle, jolloin puhdistamotoimintaan liittyvät vaikutukset tulee huomioida. Taulukossa 14 on esitetty TSP:ltä saadut lähtötiedot, jotka voidaan syöttää oletusarvoiksi. Laskentamallissa lietteen kuivaus 20 % kuiva-ainepitoisuuteen oletetaan referenssitasoksi ja sen energiankulutukseksi syötetään 0 ja ainoastaan lisäenergiantarve, jos liete kuivataan 30 % kuiva-ainepitoisuuteen, huomioidaan. Taulukon 14 kuivauksen energiankulutuksen erotusten mukaisesti lisäenergiantarve on 68 498 kWh/vuodessa.

Taulukko 14. TSP:n toimintaan ja lietteen ominaisuuksiin liittyviä oletusarvoja.

Lietteen kuivaus ka-pitoisuuteen	20 %	30 %	yksikkö
Kuivauksen energiankulutus	684 986	753 484	kWh/a
P-pitoisuus	4,3	6,4	kg/t, lietettä
N-liukoinen	1,3	2,0	kg/t, lietettä

Taulukossa 15 on esitetty energiankulutuksen määrä, joka tarvitaan, jos TSP:lle palautuu lietteenkäsittelystä kokonaistyyppiä. Laskentamalliin tulee syöttää kokonaistypen määrä 0-100% ja laskentamalli laskee energiankulutuksen taulukon 15 arvoihin perustuen ja olettaen kulutuksen olevan lineaarinen. Tällöin energiankulutus on 12,2 kWh/% kokonaistyyppiä.

Taulukko 15. TSP:lle palautuvan rejektiveden määrän vaikutus energiankulutukseen.

Paluulietteen määrä	0 %	25 %	50 %	yksikkö
Ilmastuksen energiankulutus	0	305,1	610,2	kWh/päivä

5.1.2. Energiantuotannon päästölaskenta

Energiantuotannon päästökertoimet ja laskenta on esitetty laskentamallin apuvälilehdellä ”Energiantuotanto_Päästölaskenta”. Lietteen kompostointiprosessissa käytetään sähköä. Verkkosähkön päästökerroin perustuu Motivan ohjeistukseen (Motiva, 2015). Motivan päästökertoimet sisältävät ainoastaan CO₂-päästöt. Turun seudun puhdistamolla käytettävälle sähkölle käytetään TSP:n omaa sähkön päästökerrointa. Lisäksi kompostointiprosessissa voidaan

käyttää biokaasulla tuotettua sähköä, jonka ei oleteta aiheuttavan ilmastomuutosvaikutusta, joten päästökerroin on 0. (Taulukko 16).

Taulukko 16. Energiantuotannon päästökertoimet.

Energiantuotanto	Oletukset	CO ₂ -päästökerroin,	yksikkö
Verkkosähkö	Suomen keskimääräinen sähköntuotanto	220	kg/MWh
TSP-sähkö		246	kg/MWh
CHP, biokaasu		0	kg/MWh

5.1.3. Kuljetukset

Kuljetusten osalta laskentaan on sisällytetty jätevesilietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokselle sekä kompostointiprosessissa käytettävien tukiaineiden sekä mullan valmistuksessa käytettävien seosaineiden kuljetukset. Laskentamallissa määritellään kuljetusmatkat, kuljetuskalusto sekä kuljetuskaluston polttoaine. Kuljetusten päästökertoimet perustuvat LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästötietoihin (Lipasto), joka huomioi käytetyn kuljetuskaluston ja kuorman. Dieselin ja maakaasun valmistuksen päästöt perustuvat Ecoinvent v. 3.0 –tietokantaan (Ecoinvent) ja ne on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Kuljetukset” sekä taulukossa 17. Biokaasun tuotannon päästökertoimenä käytetään biokaasun tuotanto -laskentamallilla laskettua kerrointa. Luku pitää päivittää Kompostointi-laskentamallin välilehdellä ”Kuljetukset”, kirjoittamalla käsin Biokaasun tuotanto-laskentamallista välilehdeltä ”Kuljetukset” luku solusta F40 soluun D46 Kompostointi-laskentamallissa.

Taulukko 17. Polttoaineen valmistuksen päästökertoimet.

	CO ₂ -ekv	yksikkö
Maakaasun valmistus	0,029	kg/MJ
Dieselien valmistus	0,015	kg/MJ
Biokaasun valmistus	n. 0,028 (päivitettävä tarvittaessa)	kg/MJ

5.1.4. Kompostointiprosessi

Kompostointiprosessissa käytetään seosaineena mm. haketta ja turvetta. Lisäksi mullan valmistuksessa voidaan käyttää seosaineena esimerkiksi kalkkia, hiekkaa ja turvetta. Laskentamalli sisältää tuki- ja seosaineiden valmistuksen päästöt, jotka perustuvat Ecoinvent-tietokantaan (Taulukko 18). Lisäksi laskentamalliin on sisällytetty kompostointiprosessin suorat päästöt perustuen Myllymaa et al. (2008) raporttiin.

Taulukko 18. Lietteen kompostointiprosessin tietoja

	CO ₂ -ekv. päästökerroin	Yksikkö
Tukiaine		
hake	0,0151	kg/kg
turve	0,0104	kg/kg
Mullan seosaine		
kalkki	1,029	kg/kg
hiekkä	0,0042	kg/kg
turve	0,0104	kg/kg
Suorat päästöt kompostoinnista		
CH ₄ -päästö polttoprosessista	0,987	kg/t, lietettä
N ₂ O-päästö polttoprosessista	0,051	kg/t, lietettä

5.1.5. Lannoitehyvitykset

Kompostoidulla jätevesilietteellä ja siitä tuotetuilla multa- ja maanparannustuotteilla voidaan korvata lannoitevalmisteita. Korvattavien lannoitevalmisteiden määrä on laskettu perustuen jätevesilietteen liukoiseen typpi- ja kokonaisfosforipitoisuuksiin. Lannoitevalmisteiden vältettävien päästöjen laskennassa on käytetty Ecoinvent-tietokannan tietoja forforilannoitteelle ja Yaran tietoja tyypilannoitteelle. Ne sisältävät CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt (Taulukko 19). Vältettävien lannoitevalmisteiden määrät sekä niistä saatavat vältetyt päästöt ovat maksimimäärä, joka voidaan saavuttaa. Päästökertoimet sekä lannoitehyvityslaskenta on esitetty laskentamallin välilehdellä ”Lannoitehyvitykset”.

Taulukko 19. Epäorgaanisten lannoitteiden CO₂-ekvivalenttipäästöt.

Lannoitevalmiste	CO ₂ -ekv.	Yksikkö
Yara, tyypilannoite	3,7	kg/kg
Diammoniumfosfaatti	1,57	kg/kg

5.1.6. Tulokset

Tulossivu on jaettu kolmeen osaan

4) Energiatase

Energiataseessa on kuvattu jätevesilietteen kompostointiprosessin kuluttama sähköenergia. Kuljetusten osalta on laskettu kuljetuksiin kulutetun polttoaineen energiasisältö. Kompostointiprosessissa ei synny energiaa. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksia.

5) Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonepäästölaskennan osalta osa prosesseista sisältää CO₂-päästöjen lisäksi CH₄- ja N₂O-päästöt, mutta osa prosesseista ainoastaan CO₂-päästöt. Käytetyt päästökertoimet on kuvattu tarkemmin edellisissä kappaleissa. Päästöt on jaoteltu TSP:lla käytettävän sähköntuotannon päästöihin, loppukäsittelyketjun energiantuotannon päästöihin, jätevesilietteen ja tuotosten kuljetuksista aiheutuviin päästöihin sekä vältettäviin päästöihin, joita saadaan, kun tuotetulla biokaasulla korvataan muita polttoaineita ja lietteen sisältämällä ravinteilla korvataan epäorgaanisia lannoitevalmisteita. Tulokset on esitetty 20 % ja 30 % lietteen vuoden käsittelylle minimi- ja maksimituloksin.

6) Lannoitevalmisteiden korvaaminen

Laskentamalli laskee, kuinka paljon typpi- ja fosforilannoitetta voidaan korvata perustuen lietteen sisältämiin ravinnepitoisuuksiin arvioiden kompostointiprosessissa tapahtuvan ravinnehäviön. Laskenta esittää maksimimäärän, joka lannoitetuotteita voidaan korvata jätevesilietteen sisältämällä ravinteilla, mutta se ei ota huomioon kompostointiprosessiin lisättävien tukiaineiden tai mullan valmistuksessa käytettävien seosaineiden ravinnepitoisuuksia.

5.2. Esimerkkilaskennan tulokset

5.2.1. Käytetyt laskentaoletukset

Esimerkkilaskennassa käytettiin lietteen käsittelijöiltä sekä kirjallisuudesta saatuja tietoja. Esimerkkilaskenta tehtiin seuraavilla oletuksilla:

TSP-toimintaan liittyvät oletukset:

- lietteen kuivauksen energiankulutusta ei sisällytetä laskentaan, jos liete kuivataan 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Jos liete kuivataan 30%:n kuiva-ainepitoisuuteen, sisällytetään lasketaan tarvittava lisäenergia 68498 kWh/vuodessa.
- esimerkkilaskennassa oletuksena on, että TSP:lle tai muulle puhdistamolle ei palaudu kokonaistyyppiä paluulietteen mukana.

Lietteen kuljetus TSP:ltä käsittelylaitokseen:

- minimikuljetusmatka 10 km
- maksimikuljetusmatka 100 km
- kuljetuksesta kaupunkiajoa 10 km
- kuljetuskalustona täysperävaunu, jonka kuorma 40 t ja polttoaine diesel

Kompostointiprosessin energiankulutus ja tukiaineiden käyttö

- kompostointiprosessin sähkönkulutuksena käytetään 35 kWh/t
- kompostointiprosessin tukiaineiden määrät vaihtelevat paljon. Esimerkkilaskennassa käytetään tukiaineen määränä 0,5 t/t, lietettä, josta 20 % (0,1 t) on turvetta ja 80 % (0,4 t) puuhaketta

Multatuotteen valmistus

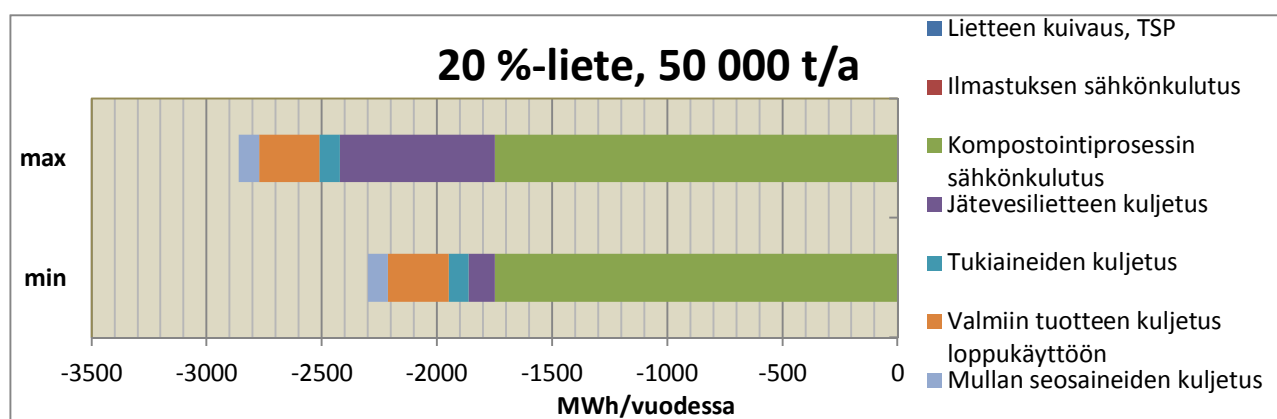
- multatuotteen valmistuksessa käytetään seosaineita, jotka vaihtelevat paljon. Esimerkkilaskennassa käytetään seosaineena ainoastaan hiekkaa 0,5 t/t, lietettä.
- Oletetaan, että valmista multatuotetta syntyy 1,5 t/t, lietettä

5.2.2. Esimerkkilaskennan tulokset

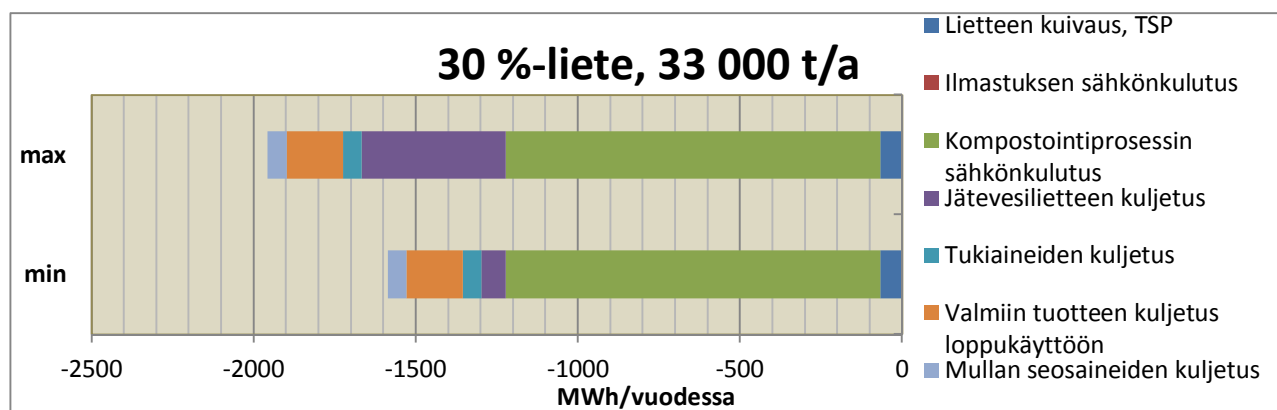
Johtuen käytetyistä lähtöoletuksista, ainoa ero minimi- ja maksimitulosten välille syntyy jätevesilietteen kuljetusmatkan vaihtelusta. 20- ja 30 –prosenttisten lietteiden välillä eroa syntyy TSP:n tarvitsemasta lisäenergiasta, kun liete kuivataan 20 %-kuiva-ainepitoisuuden sijaan 30 %-kuiva-ainepitoisuuteen.

Energiatase

Energiataselaskennan tulostulokkuvaajat on esitetty Kuvassa 9 (20 %-liete) ja Kuvassa 10 (30 %-liete).



Kuva 9. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 20 %-liete.

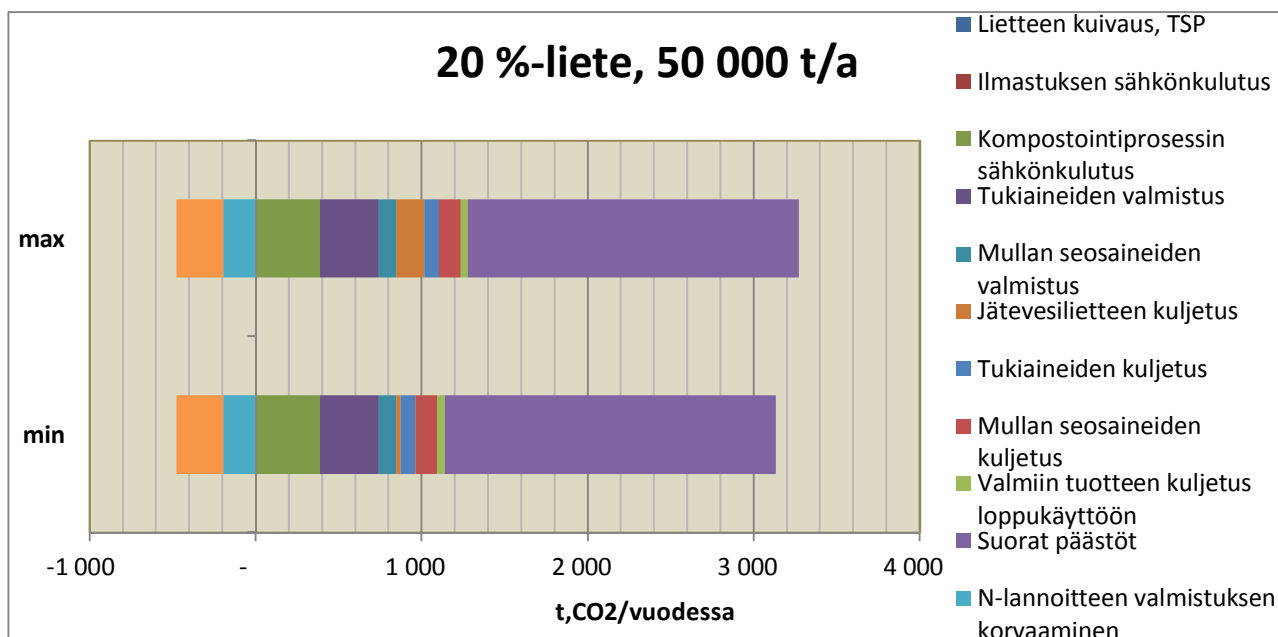


Kuva 10. Esimerkkilaskennan energiataseen tulokset, 30 %-liete.

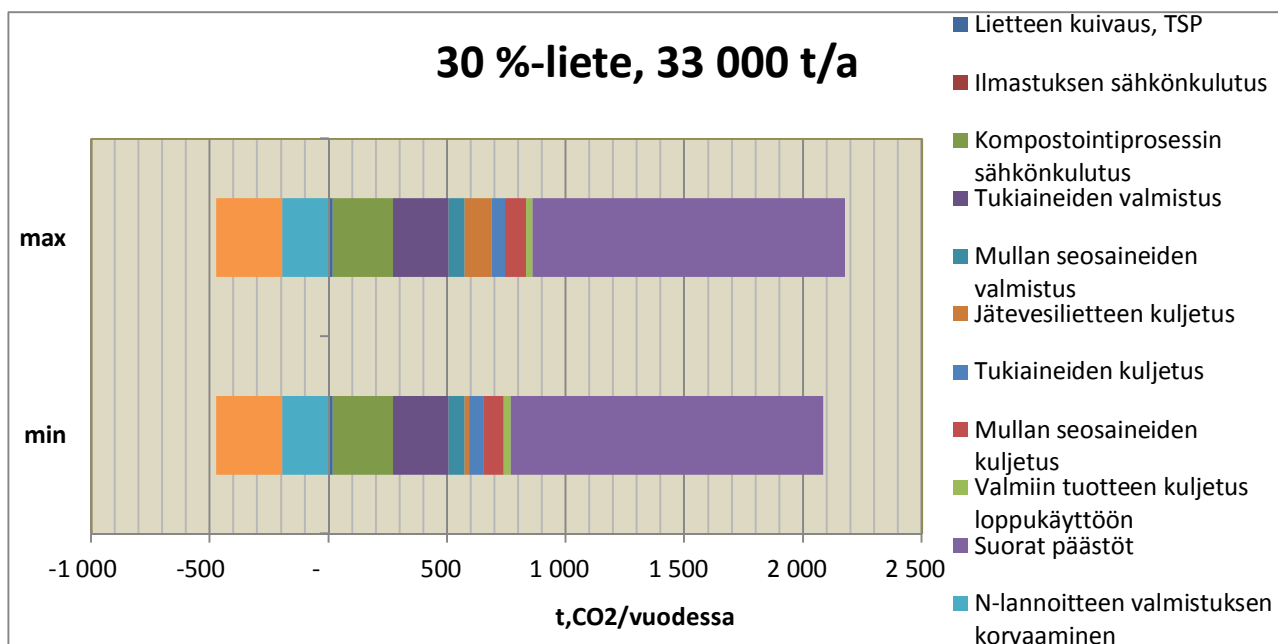
Energiatase on negatiivinen, koska kompostointiprosessi ei tuota energiaa. Kompostointiprosessin sähkökulutus on suurempi kuin kaikkien kuljetusten polttoaineenkulutus yhteensä, mutta kokonaisuuden kannalta kuljetusmatkoja, etenkin lietteen kuljetusmatkaa, lyhentämällä voidaan pienentää käsittelyketjun energiankulutusta.

Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasupäästöjen tulostulokkuvaaja on esitetty Kuvassa 11 (20 %-liete) ja Kuvassa 12 (30 %-liete).



Kuva 11. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 20 %-liete.



Kuva 12. Esimerkkilaskennan kasvihuonekaasupäästöjen tulokset, 30 %-liete.

Kasvihuonekaasupäästöissä korostuvat kompostointiprosessin suorat päästöt. On kuitenkin huomioitava, että kompostointiprosessin päästöjen arviointi on hyvin vaikeaa ilman oikeita mittauksia, joten suorat päästöt voivat vaihdella merkittävästikin tuloksissa esitetyistä. Muita päästölähteitä tarkasteltaessa, kompostointiprosessin kuluttaman sähköntuotannon päästöt ja kuljetusten päästöt ovat samaa suuruusluokkaa. Päästöjä voitaisiin pienentää käyttämällä uusiutuvia energialähteitä. Taseessa on huomioitu puhdistamolietteen ravinnemäärien perusteella, kuinka paljon mineraalilannoitevalmisteiden tuotantoa voitaisiin korvata. Laskenta ei ota huomioon, millaisia tuotteita kompostista tehdään eikä myöskään kompostin tukiaineiden ravinnepitoisuuksia.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Edellä kuvattujen laskentamallien avulla voidaan laskea yksinkertaistetut energia- ja kasviuonekaasupäästötaseet jätevedenpuhdistamolietteen käsittelyvaihtoehdoille biokaasun tuotanto, poltto ja kompostointi. Jotta eri käsittelymenetelmiä pystyttäisiin vertailemaan, tehtiin esimerkkilaskelmat käyttäen lietteenkäsittelijöiltä ja kirjallisuudesta saatuja keskimääräisiä lähtötietoja ja asettaen kuljetusmatkat samoiksi kaikissa käsittelyvaihtoehdoissa. Käytetyt esimerkkilaskelmien lähtötiedot on esitetty kappaleissa 3.2.1, 4.2.1 ja 5.2.1. Seuraavissa kappaleissa on vertailtu eri käsittelymenetelmien energiataseita sekä kasviuonekaasupäästöjä tehtyjen esimerkkilaskelmien pohjalta.

6.1. Energiataseiden vertailu

Eri käsittelymenetelmien energiataseiden vertailut 20 %- ja 30 %-lietteille on esitetty taulukoissa 20 ja 21. Sekä biokaasun tuotanto- että polttovaihtoehdossa voidaan saavuttaa positiivinen energiatase. Kompostointivaihtoehdossa energiaa ei tuoteta, jolloin tase on negatiivinen. Viimeisestä sarakkeesta nähdään, mikä on energiantuotannon ja kulutuksen prosentuaalinen suhde. Sen mukaan biokaasun tuotannolla voidaan saavuttaa parempi suhde kuin poltolla.

Taulukko 20. Lietteenkäsittelymenetelmien energiataseiden vertailu 20 %-lietteelle.

	ka-pitoisuus	20 %			
Lietteenkäsittely	MWh/a	kulutus	tuotanto	tuotanto-kulutus	tuotanto/kulutus
Biokaasun tuotanto	min	7 788	22 748	14 959	292 %
	max	8 349	22 748	14 399	272 %
Poltto	min	34 681	45 833	11 153	132 %
	max	35 241	45 833	10 592	130 %
Kompostointi	min	2 301	0	- 2 301	0
	max	2 862	0	- 2 862	0

Taulukko 21. Lietteenkäsittelymenetelmien energiataseiden vertailu 30 %-lietteelle.

		30 %			
Lietteenkäsittely		kulutus	tuotanto	tuotanto-kulutus	tuotanto/kulutus
Biokaasun tuotanto		5 209	21 448	16 239	412 %
		5 579	21 448	15 869	384 %
Poltto		22 960	45 833	22 873	200 %
		23 330	45 833	22 503	196 %
Kompostointi		1 587	0	- 1 587	0 %
		1 957	0	- 1 957	0 %

6.2. Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu

Eri käsittelymenetelmien kasvihuonekaasupäästöjen vertailut 20 %- ja 30 %-lietteille on esitetty taulukoissa 22 ja 23. Ainoastaan biokaasun tuotantovaihtoehdossa vältetyt kasvihuonekaasupäästöt ovat suuremmat kuin tuotetut. Tulosten tarkastelussa on kuitenkin huomioitava, että kasvihuonekaasupäästöt riippuvat paljon mitä oletuksia on tehty energiantuotantotavalle sekä energian kulutuksessa että vältetyissä prosesseissa.

Taulukko 22. Lietteenkäsittelymenetelmien kasvihuonekaasupäästöjen vertailu 20 %-lietteelle.

	ka-pitoisuus	20 %			
Lietteenkäsittely	MWh/a	tuotetut	vältetyt	tuotetut-vältetyt	tuotetut/vältetyt
Biokaasun tuotanto	min	1 535	8 576	-7 040	18 %
	max	1 676	8 576	-6 899	20 %
Poltto	min	11 552	7 668	3 883	151 %
	max	11 693	7 668	4 024	152 %
Kompostointi	min	3 131	479	2 652	654 %
	max	3 272	479	2 793	683 %

Taulukko 23. Lietteenkäsittelymenetelmien kasvihuonekaasupäästöjen vertailu 30 %-lietteelle.

		30 %			
Lietteenkäsittely		tuotetut	vältetyt	tuotetut-vältetyt	tuotetut/vältetyt
Biokaasun tuotanto		1 536	8 137	-6 600	19 %
		1 629	8 137	-6 507	20 %
Poltto		7 793	7 668	125	102 %
		7 886	7 668	218	103 %
Kompostointi		2 083	479	1 609	435 %
		2 176	479	1 702	454 %

6.3. Tulosten vertailtavuus ja käyttö

Taulukoissa 20-23 esitetyt tulokset on laskettu malleilla eikä niitä voi tulkita tarkkoina lukuina käytännössä. Malleja voidaan käyttää kun halutaan vertailla erilaisia menetelmiä ja tilanteita keskenään. Tällöin ne antavat suuntaa ratkaisujen energiataseista ja energiaan liittyvistä kannattavuuseroista sekä kasvihuonekaasupäästöistä. Tehtäessä hankintaan liittyviä päätöksiä, malleja ja niiden antamia tuloksia voidaan käyttää vastaavanlaiseen tarkasteluun helpottamaan eri tarjousten ja niiden eroavaisuuksien vertailua. Tämän tarkastelun perusteella ei vielä kannata hylätä mitään käsittelymenetelmää, mutta tulosten perusteella voidaan havaita merkittäviä eroja menetelmien energian kulutuksessa ja tuotannossa ja kasvihuonekaasupäästöissä. Lopullista päätöstä tehtäessä tulee huomioida energian ja päästöjen lisäksi myös ravinteiden kierrätys ja sen tuomat eroavuudet menetelmien välille. Tilaaajan painotusten perusteella voidaan asettaa ennalta joitakin päätökseen vaikuttavia kriteereitä valintaa helpottamaan.

Lähdeluettelo

Ecoinvent. <http://www.ecoinvent.ch/>

Energiateollisuus. Kaukolämmön tuotanto ja polttoaineet [viitattu 20.6.2016]. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/tuotanto-ja-polttoaineet>.

Houdkova, L., Boran, J., Ucekaj, V., Elsässer, T. and Stehlik, P. 2008. Thermal processing of sewage sludge - II. Applied Thermal Engineering 28 (2008).

Lipasto. Liikennevälineiden yksikköpäästöt. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>

Luostarinen, S; Paavola, T; Ervasti, S; Sipilä, I ja Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman kirjallisuuskatsaus. MTT Raportti 27. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti27.pdf>

Motiva, 2015. CO₂-päästökertoimet.

http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energian kulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Myllymaa et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008.

Polttoaineluokitus 2014. http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 20.6.2016]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/ehk/index.html>