

Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Tuuli Myllymaa, Katja Moliis, Antti Tohka, Simo Isoaho, Maria Zevenhoven, Markku Ollikainen ja Helena Dahlbo



Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta

**Tuuli Myllymaa, Katja Moliis, Antti Tohka, Simo Isoaho,
Maria Zevenhoven, Markku Ollikainen ja Helena Dahlbo**



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 39 | 2008
Suomen ympäristökeskus
Tutkimusosasto

Taitto: Seija Turunen
Kansikuvat: Tuuli Myllymaa

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Kirjapaino Oy, Paikkakunta 2008

ISBN 978-952-11-3234-6 (nid.)
ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

ALKUSANAT

Suomen ympäristökeskus (SYKE) toteutti vuosina 2006 - 2008 tutkimusyhteistyökumppaneidensa kanssa tutkimushankkeen "Polttokelpoisten jätteiden hyödyntäminen ympäristö- ja kustannusvaikutusten kannalta, POLKU-hanke". Hanke kuului ympäristöministeriön ympäristöklusterin tutkimusohjelmaan. Ympäristöministeriön ohella hanketta rahoittivat tutkimusosapuolet sekä Jätelaitosyhdistys ry.

POLKU-hankkeen tutkimusryhmään kuului tutkijoita viidestä organisaatiosta:

- Suomen ympäristökeskus: Helena Dahlbo (hankkeen vastuullinen johtaja), Tuuli Myllymaa (hankkeen päättökijä), Antti Tohka, Marja-Riitta Korhonen, Pirjo Rantanen sekä Jyrki Tenhunen,
- Helsingin yliopisto: Markku Ollikainen ja Katja Moliis,
- Tampereen teknillinen yliopisto: Simo Isoaho, Esa Nummela ja Timo Hämäläinen (tammikuuhun 2007 asti),
- Åbo Akademi: Maria Zevenhoven, Mikko Hupa ja Jukka Konttinen (tammikuuhun 2007 asti), sekä
- Teknillinen korkeakoulu: Pertti Rantala ja Harri Lehto (kesäkuuhun 2007 asti).

POLKU-hankkeen etenemistä seurasi ja ohjasi ohjausryhmä, jonka jäseninä olivat: Ari Seppänen (Ympäristöministeriö, hankkeen valvoja), Päivi Blinnikka (tammikuuhun 2008 asti Pirkanmaan ympäristökeskus, tämän jälkeen Uudenmaan ympäristökeskus), Petri Kouvo (YTV), Johanna Krabbe (Lassila & Tikanoja Oy), Markku Kukkamäki (SYKE, elokuuhun 2007 asti), Risto Saarinen (SYKE, elokuusta 2007 lähtien), Vesa Kärhä (Muoviteollisuus ry), Esa Nummela (Jätelaitosyhdistys ry), Matti Nuutila (Energiateollisuus ry), Katri Penttinen (Ympäristöyritysten liitto ry, toukokuusta 2007 lähtien), Sirpa Silander (SYKE, BAT-hanke), Minna Vikman (VTI, Biojalostamo-hanke, kesäkuuhun 2007 asti) ja Marjaana Rättö (VTI, Biojalostamo-hanke, kesäkuusta 2007 lähtien).

POLKU-hankkeessa tehtiin pääasiassa yhdyskuntajäteluokkaan kuuluvien polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen järjestelmälähtöinen kokonaistarkastelu ympäristö- ja kustannusvaikutuksista alueellista näkökulmaa käyttäen. Ympäristövaikutukset arvioitiin elinkaari pohjaisella tarkastelutavalla, joka laajennettiin kattamaan myös yhteiskunnalliset kustannusvaikutukset. Tässä hankkeen pääraportissa esitetään tarkastelun tulokset sekä jätelaji- että aluekohtaisesti. Elinkaariarvioinnin ja kustannustarkastelun pohjaksi koottiin runsaasti inventaariotietoa sekä jätehuoltojärjestelmiin että näiden ulkopuolisiin järjestelmiin kuuluvista prosesseista. Tämä inventaariotieto raportoidaan erillisessä, Suomen ympäristökeskuksen raportteja-sarjan julkaisussa: Myllymaa ym. 2008: "Jätteiden kierrätyksen ja polton prosessien ja käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti."

Tekijät kiittävät Ympäristöministeriötä sekä Jätelaitosyhdistys ry:tä hankkeen rahoittamisesta. Katja Moliis ja Markku Ollikainen kiittävät lisäksi Maj ja Tor Nesslingin säätiötä rahoituksesta. Lisäksi kiitokset Jyri Seppälälle avusta elinkaariarvioinnin termien määrittelyssä. Hankkeen ohjausryhmälle kiitokset rakentavasta keskustelusta, jolla se tuki hankkeen toteutumista ja tulosten tarkastelua. Hankkeen toteutus ei olisi ollut mahdollista ilman jätehuoltojärjestelmiä koskevia taustatietoja ja jätehuolto-prosessien toiminta- ja päästötietoja, joita saatiin lukuisilta jätealalla toimivilta jätehuoltoyrityksiltä, laitevalmistajilta, suunnittelijoilta, viranomaisilta ja muilta tahoilta ympäri Suomea. Kiitoksemme kaikille teille, jotka annoitte asiantuntemuksenne ja tietonne hankkeemme käyttöön.

Helsingissä elokuussa 2008

Tekijät

SISÄLLYS

Alkusanat	3
Sisällys	5
I Johdanto	11
1.1 Lähtökohdat ja lainsäädäntö	11
1.2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet.....	13
1.3 Tutkimuksen toteutus	13
1.4 Raportin sisältö	14
2 Haasteita elinkaariarvioinnin, kustannustarkastelun ja jätehuollon maailmojen yhdistämisessä	16
2.1 Jätehuollon elinkaariarvioinnin haasteita	16
2.2 Kierrätyksen reunaehdot ja hyötyjen arvioinnin haasteita	17
2.3 Elinkaarikustannusten määrittelyn haasteita.....	18
3 Jätteiden hyödyntämismuotojen ympäristövaikutukset ja kustannukset	20
3.1 Lähtötiedot ja käytetyt menetelmät	20
3.1.1 Polttoaineiden CO ₂ -ekv-päästökertoimet.....	20
3.1.2 Ympäristövaikutusten arvioinnissa käytetyt kertoimet	21
3.1.3 Kustannuslaskennassa tarkasteltavat kustannuserät	23
3.1.4 Yksikkökustannukset ympäristövaikutusten laskennassa	23
3.2 Sekajäte	24
3.2.1 Arinapoltto teollisuusalueella	24
3.2.2 Arinapoltto taajama-alueella	33
3.2.3 Kierrätyspolttoaineen (RDF) poltto leijukerroslaitoksessa, korvattavina polttoaineina öljy, puu ja kivihiili.....	36
3.2.4 Kierrätyspolttoaineen (RDF) 2 % seospolttoturvokattilassa, korvattavana polttoaineena turve.....	39
3.2.5 Loppusijoitus kaatopaikalle tehostetun biojätteen erilliskeräyksen jälkeen.....	43
3.2.6 Sekajätteen käsittelyketjujen yhteenveto ja vertailu	46
3.3 Kuitupakkaukset, puu ja muovit	54
3.3.1 Kuitujätteiden rahdin välttäminen.....	54
3.3.2 Jätepuun hyödyntäminen raaka-aineena	56
3.3.3 Jätemuovien kierrätys uusioraaka-aineeksi	58
3.3.4 Arinapoltto teollisuusalueella.....	60
3.3.5 Kierrätyspolttoaineen (REF) poltto leijukerroslaitoksessa	66
3.3.6 Kuitu-, puu- ja muovijätteen käsittelyketjujen yhteenveto ja vertailu.....	71
3.4 Biojäte	76
3.4.1 Kompostointi ja hyödyntäminen viherrakentamisessa	76
3.4.2 Mädätys ja kompostointi, biokaasun poltto turvekattilassa ja kompostin hyödyntäminen viherrakentamisessa	79
3.4.3 Biojätteen hyödyntämismuotojen yhteenveto ja vertailu	82
3.5 Jätevesilietteet	85
3.5.1 Mädätys ja kompostointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen poltossa, viherrakentamisessa ja peltolannoitteena	85
3.5.2 Terminen kuivaus ja arinapoltto teollisuusalueella.....	90

3.5.3	Kemiallinen käsittely, kompostointi ja käyttö viherrakentamisessa.....	92
3.5.4	Jätevesilietteen hyödyntämismuotojen yhteenveto ja vertailu .	95
3.6	Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyt	99
3.6.1	Maatilanmädätys ja lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa, viherrakentamisessa ja peltolannoitteena.....	99
3.6.2	Mädätys ja kompostointi	102
3.6.3	Terminen kuivaus ja lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa ja metsälannoitteena.....	108
3.6.4	Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyvaihtoehtojen yhteenveto ja vertailu.....	111
3.7	Täydentäviä tarkasteluja	116
3.7.1	Kuitupakkausten kierrätys.....	116
3.7.2	Puujätteen hyödyntäminen sellunvalmistuksen raaka-aineena....	116
3.7.3	Etanolin tuotanto biojätteestä biojalostamossa	117
3.7.4	Kivihiililauhteella tuotettu sähkö marginaalienergiamuotona	117
3.7.5	Ajoneuvojen uusien Euro-päästörajaluokkien vaikutus kuljetusten päästöihin.....	118
3.7.6	Jätteenpolton tuottaman energian vaikutus energijärjestelmään sähköä ja lämpöä tuottavan yhteistuotantolaitoksen vaikutusalueella	118
3.7.7	Jätteiden sijoittaminen kaatopaikalle	119
4	Alueellisten järjestelmien ympäristövaikutukset ja kustannukset ...	120
4.1	Tarkasteltavat alueet ja niiden valintaperusteet	120
4.2	Alue 1: Palvelukeskeinen kaupunkialue (Pääkaupunkiseutu)	123
4.2.1	Skenaariot ja niiden valintaperusteet.....	123
4.2.2	Tulokset	124
4.3	Alue 2: Teollistunut kaupunkialue (Pirkanmaa)	129
4.3.1	Skenaariot ja niiden valintaperusteet.....	129
4.3.2	Tulokset	130
4.4	Alue 3: Alkutuotantopainotteinen maaseutu (Pohjois-Karjala).....	134
4.4.1	Skenaariot ja niiden valintaperusteet.....	134
4.4.2	Tulokset.....	136
4.5	Alue 4: Teollistunut maaseutu (Pohjois-Pohjanmaa)	141
4.5.1	Skenaariot ja niiden valintaperusteet.....	141
4.5.2	Tulokset	142
5	Tulevaisuuden polttotekniikoiden kehitysnäkymiä	146
5.1	Poliittisten ohjaukeinojen merkitys polttoteknologioiden kehittämisessä	146
5.2	Nykyisin käytössä olevien polttotekniikoiden kehitysnäkymät.....	146
5.2.1	Arinatekniikka	148
5.2.2	Leijukerrostekniikka	148
5.3	Uudet polttotekniikat ja tekniikoiden potentiaali	148
5.3.1	Pyrolyysitekniikka	148
5.3.2	Kaasutus	149
5.3.3	Plasmakonversiotekniikka	149
5.3.4	Biokaasun poltto polttokennotekniikalla	150
5.4	Yhteenveto polttotekniikoiden tulevaisuuden näkymistä	150
6	Tulosten tarkastelu	152
6.1	Sekajätteen hyödyntämisketjut.....	153
6.2	Kuitupakkausten, puun ja muovien hyödyntämisketjut.....	155
6.3	Biojätteen hyödyntämisketjut.....	157
6.4	Jätevesilietteen hyödyntämisketjut	159
6.5	Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyn hyödyntämisketjut.....	160

6.6 Aluekohtaisten järjestelmätarkastelujen tulokset.....	162
6.7 Johtopäätökset	168
Kirjallisuus.....	171
Liite 1 Karakterisointikertoimet.....	174
Liite 2 Jätelajikohtaiset käsittelyketjut virtauskaavioina	176
Liite 3 Suomen kaukolämmön tuotannon pääpolttoaineet vuonna 2007 ..	189
Kuvailulehti	190
Presentationsblad.....	191
Documentation page.....	192

TERMIT

Elinkaariarviointi

ISO 14040 ja 14044 –standardeissa määritelty, tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten arviointi. Elinkaareen sisällytetään kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen. Elinkaareen kuuluvat myös järjestelmän energian kulutus ja kuljetukset. Kustakin elinkaarivaiheesta kootaan tiedot käytetyistä materiaali- ja energiavirroista sekä ilmaan, veteen ja maaperään päätyvistä päästöistä, ns. inventaariovaiheessa. Inventaarioanalyysin tulokset luokitellaan eri ympäristövaikutusluokkiin.

Energian saanto

Energian saannolla tarkoitetaan tässä työssä sitä osuutta energialaitoksen käyttämien polttoaineiden energiasisällöstä, joka tarvitaan ja hyödynnetään energijärjestelmissä joko sähkönä tai lämpönä. Tuotettua lauhde-energiaa ei lasketa mukaan tuotettuun energiamäärään, eikä myöskään laitoksen omaa sähkökäyttöä.

Happamoituminen

Ilmakehään vapautuvat rikkidioksidin ja typen yhdisteet reagoivat ilmakehässä aiheuttaen hapanta laskeumaa. Happamoituminen vaikuttaa mm. purojen ja järvien eliöihin sekä metsämaan kasvuolosuhteisiin.

Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv)

Ilmastonmuutokseen vaikuttavia päästöjä ovat mm. hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli. Päästöt muunnetaan ilmastovaikutuksiltaan yhteiseen yksikköön, hiilidioksidiekvivalenteiksi, käyttämällä päästökohdaisia karakterisointikertoimia (CO₂ = 1, CH₄ = 25, N₂O = 298).

Hyödyntämisketju

Tarkoittaa kaikkia jätteen käsittely- ja hyödyntämisprosesseja ja vaiheita, jotka tarvitaan jätteen sisältämän aineen tai energian talteen ottamiseksi ja käyttämiseksi.

Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutosta kuvaavassa vaikutusluokassa tarkastellaan maapallon lämpötilamuutoksia ja kaikkia niistä seuraavia vaikutuksia, jotka liittyvät ilmakehän säteilypakotteessa tapahtuviin muutoksiin ns. kasvihuonekaasupäästöjen seurauksena. Merkittävimpiä kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli.

Karakterisointi

Elinkaariarviointiin liittyvä termi. Samoja vaikutuksia aiheuttavat päästöt karakterisoidaan eli muunnetaan vaikutusluokkaindikaattorin yhteiseen yksikköön (kuten CO₂-ekv. vaikutusluokassa ilmastonmuutos).

Kokonaishyötysuhde

Kokonaishyötysuhde on energialaitoksen tuottaman nimellisen sähkötehon ja lämpötehon summa suhteutettuna laitoksen polttoainetehoon. Kokonaishyötysuhde on kuitenkin mitoitussarvo, ja käytännössä laitokset toimivat monesti ilmoitettua laskennallisia maksimihyötysuhteita alhaisemmillä keskimääräisillä hyötysuhteilla mm. vuodenaikaan liittyvien erilaisten lauhdutustarpeiden ja sähköntuotannon hyötysuhdetta heikentävän osakuormalla ajamisen vuoksi. Tässä tutkimuksessa ei ole käytetty kokonaishyötysuhdetta kuvaamaan energiantuotantoprosessien tehokkuutta, vaan tehokkuus on ilmaistu energian saantona.

Kuivajäte

Kuivajäte on sekajätteestä jäljelle jäävä jätelaji, kun sekajäte kerätään alueelta, jolla on järjestetty muiden erillisjakeiden lisäksi myös biojätteiden erilliskeräys. Tässä tutkimuksessa on käytetty vain ilmaisua sekajäte.

Lannoitekäyttö Lannoitekäytöksi on tässä tutkimuksessa kutsuttu jäteperäisten materiaalien hyötykäyttöä lannoitevalmisteena ja/ tai maanparannusaineena silloin, kun ravinteet on toimitettu pelto- tai metsämaaperään.

Mädätyslijäämä

Mädätysprosessista ennen tai jälkeen mädätyksen sivuun otettava, kiinteä rejekti, joka ei sovellu mädätteen sekaan ja hyötykäytettäväksi (suuruusluokka max. 7 % syötteestä).

Neitseellinen materiaali

Luonnosta tai alkutuotannosta peräisin oleva materiaali.

Normalisointi

Elinkaariarviointiin liittyvä termi. Vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan suhteuttaa eli normalisoida jonkin referenssialueen, esim. Suomen vastaavilla vaikutusluokkaindikaattorituloksilla, jolloin saadaan tarkasteltavan tuotejärjestelmän ympäristövaikutusten suhteellinen merkitys valittuun referenssiin nähden.

Noutokuljetus

Jätteiden keräilytyö kiinteistöjen jätepisteistä pakkaavaan jäteautoon ja edelleen siirtokuormausasemille tai kaatopaikalle.

Painottaminen

Elinkaariarviointiin liittyvä termi. Eri vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan yhdistää kokonaisympäristövaikutusluvuksi painottamalla tulokset eli arvottamalla eri vaikutusluokkien merkitsevyys toisiinsa nähden.

Potentiaalinen ympäristövaikutus

Elinkaariarvioinnissa arvioidut ympäristövaikutukset eivät pyri kuvaamaan todellisia vaikutuksia. Ympäristövaikutustuloksia verrataan aina johonkin, minkä takia erilaisten tuotejärjestelmien tai niiden osien suhteelliset erot ympäristövaikutusten aiheuttajana riittävät arviointien perustaksi.

Rakennussuhde (Rakennusaste)

tarkoittaa energialaitoksen sähkön ja lämmön tuotannon suhdetta (sähköteho/lämpöteho), kun myös lauhde-energia lasketaan mukaan. Mitä pienempi rakennussuhde, sitä pienempi osa tuotetusta energiasta on sähköä.

Rehevöityminen

Liian suuret ravinnepäästöt aiheuttavat haitallisia seurauksia ympäristössä. Etenkin typpeä ja fosforia sisältävät päästöt lisäävät kasvien kasvua maaperässä ja vesistöissä, mistä seuraa mm. lajimuutoksia ja happikatoa vesistöissä.

RDF (Refuse derived fuel)

Sekajätteestä mekaanisesti prosessoimalla valmistettu jätelaji, kierrätyspolttoaine, jota voidaan käyttää energian tuottamiseen. RDF voi Suomen oloissa olla laadultaan energiana hyödyntämisen kannalta hyvin samanlaista kuin REFIII.

REF (Recovered Fuel)

REF:lla tarkoitetaan hyvälaatuista, polttokelpoisista, kuivista ja kiinteistä jätteistä, kuten kuitupakkauksista, puusta ja muovista, mekaanisesti prosessoimalla valmistettua kierrätyspolttoainetta. REF-kierrätyspolttoaine valmistetaan tyypillisesti teollisuuden ja palvelutoimialojen jätteistä, mutta myös kotitalouksien syntypaikkalajitelluista kartonki- ja pakkausjätteistä voidaan saada laadultaan REF:ksi luokiteltavaa jätelajia. REF-laatuluokkia on kolme: REF I, REF II ja REF III, joista I-luokka on laadultaan parasta ja III-luokka huonointa. Suomessa REF-polttoainestatuksen saa kierrätyspolttoaine, joka täyttää SFS 5875-standardin ehdot. Biohajoava osa jätteistä katsotaan uusiutuvaksi.

Rejektivesi

Mädätyksen jälkeen mädätteestä (linkoamalla) erotettu vesi.

Sekajäte

Sekajätteellä tarkoitetaan tässä työssä yhdyskuntajätteen syntypaikkalajittelussa jäljelle jäävistä jätekomponenteista muodostuvaa jätelajia silloin, kun syntypaikkalajittelu kattaa ainakin osalla kertymäalueesta biojätteen, metallit, keräyspaperin, keräyskartongin ja ongelmajätelajit. Määritelmä vastaa tilastokeskuksen yhdyskuntajätteiden tilastoinnissa käyttämää terminologiaa.

Seospoltto

Seospoltolla tarkoitetaan tässä työssä jätteestä prosessoidun rinnakkaispolttoaineen käyttöä muiden polttoaineiden rinnalla hyvin pienenä, 2 %:n osuutena erotuksena tavanomaisemmasta rinnakkaispoltosta, jossa rinnakkaispolttoaineiden osuus on tyypillisesti 10 - 20 %.

Turvemulta

Turvemullaksi on tässä tutkimuksessa kutsuttu kasvualustaa, jonka yhtenä raaka-aineena on turve.

Vaikutusluokka

Ympäristökysymyksiä nimitetään elinkaariarvioinnissa vaikutusluokiksi. Vaikutusluokka ilmentää päästöjen erikseen sovittuja vaikutuksia, jotka syntyvät määrätyn syysseurausketjun perusteella. Vaikutusluokkia ovat esim. ilmastonmuutos, happamoituminen ja rehevöityminen.

Vaikutusluokkaindikaattori

Elinkaariarviointiin liittyvä termi. Ks. karakterisointi.

Vältetyt päästöt, hyvitykset ja korvaavuus

Tutkittavan järjestelmän vaikutuksia muihin järjestelmiin – esimerkiksi sekajätteen polton vaikutusta alueen energiantuotantolaitoksen polttoaineiden käyttöön – tutkitaan, jotta voidaan saada kokonaiskuva tuotejärjestelmän vaikutuksista. Muissa järjestelmissä tapahtuvat muutokset otetaan huomioon vältettyinä päästöinä tai hyvityksinä ja tutkittavan järjestelmän sanotaan korvaavan vältettyä toimintaa.

1 Johdanto

1.1

Lähtökohdat ja lainsäädäntö

Suomessa sekajäte on toistaiseksi sijoitettu pääosin kaatopaikoille ilman esikäsitteilyä. Syntyneiden jätteiden kokonaismäärä Suomessa vuonna 2006 oli yhteensä noin 65 milj. tonnia, josta kaatopaikalle sijoitettiin lähes 37,5 milj. tonnia eli noin 60 p-% (Tilastokeskus 2008a).

Kaatopaikalla jätteiden biohajoavasta osuudesta muodostuu hajoamisen seurauksena metaania, joka on yksi merkittävistä kasvihuonekaasuista. Tilastokeskuksen (2008) mukaan Suomen t kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2006 noin 80,3 milj. t CO₂-ekv, josta kaatopaikkojen osuus oli noin 3 p-% eli noin 2,5 milj. t CO₂-ekv (vuonna 2005 päästöt olivat 2,4 milj. t CO₂-ekv). Valtakunnallisista metaanipäästöistä kaatopaikkojen osuus on lähes 50 p-% eli noin 100 000 t vuodessa (Tilastokeskus 2008). Jätehuollon kuljetuksista ja jätteiden poltosta muodostuvat kasvihuonepäästöt tilastoidaan liikenne- ja energiasektoreille. Jätehuoltoa pidetään ilmastonmuutoksen hidastamisessa ja muiden ympäristövaikutusten pienentämisessä merkittävänä toimialana muun muassa siksi, että erilaiset ympäristötoimenpiteet voidaan toteuttaa nopeammin ja kustannustehokkaammin useisiin muihin toimialoihin verrattuna.

EU:ssa on sovittu biohajoavan yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoituksen vähentämisestä asteittain siten, että vuonna 2016 kaatopaikoille päätyisi enää 35 painoprosenttia vuonna 1994 syntyneestä biohajoavan yhdyskuntajätteen määrästä (Suomessa 2,1 miljoonaa tonnia). Biohajoavalla jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka voi hajota aerobisesti tai anaerobisesti, kuten elintarvike-, puutarha-, paperi- ja kartonkijätettä.

EU:n energia- ja ilmastopaketti asettaa tavoitteeksi kasvihuonekaasujen vähentämisen 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä (vertailuvuotena 1990). Päästökauppasektorille asetettu erillinen vähennystavoite on 21 % vuoden 2005 tasosta vuonna 2020 ja ei-päästökauppasektorin toimialoille, joihin jätehuoltokin kuuluu, Suomen kansalliseksi tavoitteeksi on asetettu 16 %.

Jätehuollolle asetettu vähentämistavoite on haasteellinen, sillä jätteen energiana hyödyntämisellä saatavaa kasvihuonekaasujen vähenemää ei saada (kokonaisuudessaan) luettua jätehuollon hyväksi. Jätteistä kaatopaikalla aiheutuvat päästöt ja jätteiden poltto yksinomaan jätteiden polttoon tarkoitettussa laitoksessa kuuluvat ei-päästökauppasektorille, rinnakkaispolttolaitokset puolestaan kuuluvat energia-sektorille, koska ne käyttävät polttoaineenaan muutakin kuin jätettä. Jätettä polttava rinnakkaispolttolaitos voi vähentää päästökaupan piiriin kuuluvia päästöjään käyttämänsä jätteen bioperäisen osuuden verran, ja saada taloudellista hyötyä vältettyinä päästöoikeuskustannuksina.

Suomen biohajoavan jätteen strategia (2004) esittää valtakunnan tason tavoitteet ja toimintalinjaukset EU:ssa sovittujen, kaatopaikkasijoittamisen vähentämiseen liittyvien päämäärien toteuttamiseksi. Strategia perustuu esikäsitteilyä painottavaan

vaihtoehtoon, johon sisältyy jätteen synnyn ehkäisyn, kierrätyksen, kiinteistökohtaisen kompostoinnin ja kaatopaikkasijoituksen lisäksi jätepolttoaineen valmistus ja poltto. Strategian mukaan ilman energiana hyödyntämistä edellä mainittua 65 %:n hyötykäyttötavoitetta ei voida saavuttaa.

Juuri hyväksytty valtakunnallinen jätesuunnitelma (2008) ja pääosin vielä laadintavaiheessa olevat alueelliset jätesuunnitelmat antavat uusimmat strategiset tavoitteet toimintalinjauksineen jätehuollon järjestämiselle. Valtakunnallisen jätesuunnitelman keskeisenä viestinä on, että jätehuollon nykykäytäntöjä on kehitettävä, jätelajien sisältämien materiaalien hyödyntämistä on lisättävä samoin kuin jätteiden maltillista energiahyödyntämistä.

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003) tuli täysimääräisesti voimaan vuoden 2005 lopulla ja se tiukensi olennaisesti erilaisia jätelajeja polttavien energialaitoksien savukaasujen puhdistusvaatimuksia sekä mittaus- ja seurantavelvoitteita. Asetus johti voimaan tullessaan jätelajien energiana hyödyntämisen huomattavaan vähenemiseen, koska osa energialaitoksista lopetti rinnakkaispolton kokonaan.

Lannoitevalmistelaki (539/2006) tiukensi lietetuotteiden hyötykäytölle viherrakentamisessa ja maatalouskäytössä asetettuja vaatimuksia erityisesti haitallisten aineiden ja patogeenien osalta. Toisaalta se helpottaa lietteiden tuotteistamista edistäen lannoitevalmisteiksi soveltuvien sivutuotteiden hyötykäyttöä silloin, kun ne eivät aiheuta vaaraa tai haittaa ihmisille, eläimille, kasveille tai ympäristölle ja niillä on positiivisia vaikutuksia kasvien kasvuun.

Suomessa keskeisiä alueellisia toimijoita ovat julkisvastuulla olevien jätelajien huollosta vastaavat alueelliset jätelaitokset. Tuottajavastuuyhteisöt, joiden toimialueena on koko valtakunta, vaikuttavat myös alueellisesti polttokelpoisten jätelajien virtoihin ja niiden ohjautumiseen sellaisenaan tai osittain materiaalina ja energiana hyödyntämiseen. Yritykset ja maatalousyrittäjät jätteentuottajina toteuttavat jätehuollon järjestämistä omana toimintanaan tai ympäristöyritysten tai alueellisten jätelaitosten palveluja käyttäen.

Alueelliset toimijat ovat jo suunnitelleet ratkaisuja, jotka synnyttäisivät Suomeen suhteellisen kattavan jäteperäisten polttoaineiden käyttöön tukeutuvien voimalaitosten verkoston. Laitosten toteutuminen on kuitenkin vielä epäselvää, sillä suurin osa laitoksista on vielä suunnitteluvaiheessa, eli joko YVA- tai luvanhakuprosessissa. Alueelliset suunnitelmat jätteen energianhyödyntämisen lisäämisestä ovat herättäneet keskustelua jätteen materiaali- ja energiahyödyntämisen priorisoinnista toisiinsa nähden. Yhtäällä energiahyödyntämisen on nähty uhkaavan materiaalihyödyntämisen edelleen kehittämistä ja syöväen voimavaroja erityisesti jätteen synnyn ehkäisyn edistämiseltä. Toisaalla katsotaan, että jätteiden hyödyntämiselle asetettujen määrällisten tavoitteiden saavuttaminen on mahdotonta ilman energiahyödyntämisen lisäämistä ja synnyn ehkäisystä huolimatta on aina oleva jätettä, jolle energiahyödyntäminen on yksi hyödyntämisvaihtoehto. Lisäksi on esitetty, että energiateknologioiden polttoaineen laadulle asettamat vaatimukset riittäisivät kannustimeksi jätteiden mahdollisimman hyvälle syntypistelajittelulle, joka on myös materiaalihyödyntämisen edellytys. Siten nähdään, että materiaalina ja energiana hyödyntäminen eivät ainakaan sekajätteenäkökulmasta katsottuna ole kilpailevia, vaan toisiaan täydentäviä menettelyjä.

POLKU-hankkeen lähtökohtana on tutkia polttokelpoisten jätteiden jätehuollon vaihtoehtoja ottaen huomioon lainsäädännön velvoitteet ja tunnistetut kehittämistarpeet. Jätteiden hyödyntämiseen liittyy monia keskeisiä kysymyksiä. Energiana hyödyntämisen taloudellinen reunaehto muodostuu lämmön ja sähkön kulutusmarkkinoista ja ekologinen reunaehto voimalaitosten päästöjen hallinnasta. Siten jäteperäisten polttoaineiden ympäristö- ja kustannusvaikutusten tarkastelut kytkeytyvät energiahuollon järjestämisen kokonaisuuteen. Milloin ja missä jäteperäisillä polttoaineilla voidaan kasvattaa kulutusalueen energiantuotannon kokonaismäärää ja milloin korvata olemassa olevien voimalaitosten tuottamaa energiaa? Voiko yhdys-

kuntajätehuolto tukeutua yhden teollisuuslaitoksen energiatarpeen tyydyttämiseksi rakennettavaan voimalaitokseen? Jos tuotetaan lämpöenergiaa ja sillä korvataan yhdistettyä sähkön ja lämmön tuotantoa, miten korvataan syntynyt sähkövaje? Onko taloudellisia ja ympäristönsuojelullisia edellytyksiä tuottaa niin sanotuilla jätevoimailloilla pelkästään sähköä?

Materiaalihyödyntämisen loppukäytön kysymykset liittyvät energiahyödyntämisestä vastaavalla tavalla markkinoihin: Onko kierrätysraaka-aineelle aitoja markkinoita? Pystytäänkö kierrätysraaka-ainetta toimittamaan markkinoiden kysyntää ja sen vaihtelua vastaavasti? Voidaanko kierrätysraaka-aineelle taata tuotevalmistajien edellyttämät laatuominaisuudet? Saadaanko kierrätyksen avulla tuotettua alkupe räisen kaltaisia tuotteita, vai kiertääkö raaka-aine jatkuvasti laadultaan ja käytöltään vähäarvoisempiin tuotteisiin (ns. down cycling)?

Useisiin keskusteluissa esille tulleisiin kysymyksiin voidaan vastata vain kokonaisvaltaisen ympäristö- ja kustannusvaikutusten arvioinnin avulla. Nämä jätehuollon, ilmastopolitiikan ja materiaalikäytön toisiinsa punoutuvat kysymykset muodostavat POLKU-hankkeen välittömän taustan.

1.2

Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

POLKU-hankkeen tarkoituksena oli toteuttaa polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen järjestelmälähtöinen kokonaistarkastelu ympäristö- ja kustannusvaikutuksista. Pää tavoitteena oli tuottaa alueellista jätehuollon suunnittelua ja päätöksen tekoa tukevaa tietoa polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen vaihtoehtoista ja niiden ympäristö- ja kustannusvaikutuksia määrittävistä tekijöistä. Koska asumistiheys ja toimialarakenne vaikuttavat olennaisesti eri jätelajien määriin, lajittelu- ja kuljetus- ja prosessointikustannuksiin, energia- ja materiaalihyödyntämisen suhteellista paremmuutta tarkasteltiin käyttäen esimerkkinä erilaisia aluetyyppejä, jotka edustavat mahdollisimman hyvin jätehuollon järjestämisen tyypillisiä alueellisia piirteitä ja haasteita Suomessa.

POLKU-hankkeen tutkimuskysymykset voidaan tiivistää seuraavasti:

1. Millaiset ovat jätteen erilaisten hyödyntämismenetelmien elinkaari-perusteiset ympäristö- ja kustannusvaikutukset?
2. Millaisilla aluetyypeillä jätteen suora energiana hyödyntäminen on ympäristö- ja kustannusvaikutusten kannalta järkevin vaihtoehto ja minkälaisilla alueilla on perusteltua toteuttaa jätehuolto useita hyödyntämismenetelmiä soveltaen?
3. Miten hyödyntämiselle haitallisten aineiden joutuminen jätteisiin voitaisiin ehkäistä?

Yksilöidympanä POLKU-hankkeen tavoitteena oli löytää erityyppisille alueille parhaat mahdolliset, mutta realistiset hyödyntämisympäristöjen yhdistelmät. Varsinaista optimointia ei tavoiteltu, vaan eri aluetyypeille laadittuja järjestelmiä tarkasteltiin suunnitelmien ja todennäköisten ratkaisujen kannalta. Polttoon soveltuvien jätelajien energiana ja materiaalina hyödyntämisen vaihtoehtoja tarkasteltiin sekä jätehuoltojärjestelmien että yksittäisten jätelajien tasolla.

Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin uusien materiaalihyödyntämis-, esikäsittely- ja energiatekniikoiden mahdollisuuksia polttokelpoisten jätteen jätehuollossa.

1.3

Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksessa tarkastellaan polttokelpoisia jätelajivirtoja. Tarkastelu rajattiin pääasiassa yhdyskuntajäteluokkaan kuuluviin polttokelpoisiin jätelajeihin (biohajoavat jätteet ja muovit) ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla muodostuviin lietteisiin.

Tutkimushanke käynnistettiin kokoamalla tietoa elinkeinorakenteesta, asukas- ja jätelajimääristä, sekä energia- ja materiaalihyödyntämisen suunnitelmista Suomessa. Tietojen pohjalta valittiin neljä erityyppistä aluetta POLKU-hankkeen tarkasteluun. Kaupunkimaisesta asutuksesta valittiin teollistunut ja palvelukeskeinen alue (Pirkanmaa ja pääkaupunkiseutu) ja maaseudulta teollistunut ja alkutuotantoon perustuva alue (Pohjois-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan alue). Valittujen aluetyyppien arvioitiin kattavan suhteellisen hyvin jätehuollon tyypilliset haasteet Suomessa.

Alueellisen tarkastelun eduksi nähtiin se, että järjestelmäkuvauksen perustaksi saadaan todelliset tuotanto-, energia- ja jätehuoltoinfrastruktuurit. Tällä tavoin erilaisille jätehuollon ja hyödyntämisen toiminnoille saadaan konkreettiset sijaintipaikat, jotka tarvitaan muun muassa kuljetusten tarkastelua varten. Samoin esimerkiksi jäteperustaisen energiatuotannon merkityksen tarkastelulle neitseellisten polttoaineiden korvaajana saadaan vertailukohteet mahdollisimman realistisesti olemassa olevista energiantuotantolaitoksista.

Kullekin aluetyypille muodostettiin kaksi tai kolme polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen skenaariota, joista yksi painottuu jätelajien energiana hyödyntämiseen ja toinen materiaalina hyödyntämiseen. Skenaarioiden muodostamisessa lähtökohtana oli pyrkimys jätehuollon nykytilanteen muuttamiseen eli jätteen kaatopaikkasijoittamisen vähentämiseen ja hyödyntämisen lisäämiseen. Nykytilannetta ei mallinnettu ja näin ollen materiaali- ja energiahyödyntämiseen painottuvat skenaariot ovat verrattavissa vain toisiinsa saman tarkastelualueen osalta. Skenaarioiden ympäristö- ja kustannusvaikutukset arvioitiin elinkaari pohjaisena tarkasteluna, jota Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) on sovellettu useisiin erilaisiin tuotteisiin ja toimintoihin (Dahlbo ym. 2005, Myllymaa ym. 2005, Korhonen ja Dahlbo 2007, Seppälä ym. 2000 ja 2001). Menettely on kuvattu pääpiirteissään julkaisussa Myllymaa ym. (2008). Elinkaaritarkastelu laajennettiin kattamaan myös yhteiskunnalliset kustannusvaikutukset (SLCC, social life cycle costs), joiden arviointimenettely on esitetty pääpiirteissään julkaisussa Myllymaa ym. 2008. Tässä arvioinnissa esiin nousseiden kriittisten tekijöiden merkitystä tuloksille tarkastellaan tässä raportissa omassa luvussaan (3.7). Näihin tarkasteluihin sisällytettiin myös prosesseja, joita ns. perustarkastelussa ei voitu mm. prosessikohtaisen tiedon vajavaisuuden vuoksi ottaa huomioon.

Hanke toteutettiin yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Helsingin yliopiston, Åbo Akademin, Teknillisen korkeakoulun (TKK) sekä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kanssa. Tutkimuksen koordinaattorina ja toteutuksesta vastaavana tahona toimi SYKE. Lisäksi SYKE vastasi ympäristövaikutusten arvioinnista ja sitä varten tarvittavan tiedon kokoamisesta. Helsingin yliopisto puolestaan vastasi kustannusvaikutusten arvioinnista ja siihen tarvittavan tiedon kokoamisesta ja työstämisestä. Åbo Akademin vastuulla oli tulevaisuuden teknologioiden soveltuvuuden tarkastelu polttotekniikoiden osalta. TKK vastasi esikäsittelyteknologioiden mahdollisuuksien arvioinnista. TTY tuotti tarkasteltavien järjestelmien laatimiseksi ja rajaamiseksi sekä laskentaperiaatteiden määrittämiseksi tarvittavaa tietoa hankkeen käyttöön.

1.4

Raportin sisältö

POLKU-hankkeen pääraportin luvussa 1 esitetään lainsäädännöllistä taustaa hankkeelle sekä hankkeen tavoitteet ja toteutus yleispiirteisesti. Luvussa 2 nostetaan esiin haasteita, joita jätehuoltojärjestelmien tarkastelu asettaa elinkaariarvioinnille ja kustannustarkasteluille. Luvuissa 3 - 4 esitetään POLKU-hankkeen tuloksia, tulosten tarkastelua sekä niistä vedettäviä johtopäätöksiä. Luku 3 esittelee tulokset jätelajikohtaisesti. Jokaiselle jätelajille on mallinnettu useita hyödyntämis- ja käsittelyketjuja, ja näiden ketjujen osalta esitetään ensin inventaarioanalyysin tulokset. Näistä on valittu

lähempään tarkasteluun ilmastonmuutosta kiihdyttävät kasvihuonekaasupäästöt. Tämä siitä syystä, että kasvihuonekaasupäästöt ovat tällä hetkellä ympäristöpolitiikan ytimessä. Lisäksi EU:n jätteiden synnyn ehkäisyn ja kierrätyksen edistämiseksi laaditun strategian ympäristövaikutusten arvioinnissa ilmastonmuutosvaikutukset nostettiin keskeisimmäksi tarkastelukohteeksi, koska jätehuoltovaihtoehtojen välillä on todettu esiintyvän suurimpia eroja nimenomaan tämän vaikutusluokan osalta.

Inventaarioanalyysitulosten jälkeen luvussa 3 esitetään vaikutusarvioinnin tulokset, joissa tarkasteltavana ovat seuraavat vaikutusluokat: hiukkaset, myrkyllisyys ihmiselle, ekotoksisuus maaperä, ekotoksisuus vesistöt, otsonin terveysvaikutukset, kasvillisuuden otsonivauriot, maaperän rehevöityminen, vesien rehevöityminen, happamoituminen ja ilmastonmuutos.

Potentiaalisten ympäristövaikutusten jälkeen esitetään jätelajikohtaisille hyödyntämis- ja käsittelyketjuille kustannustarkastelun tulokset.

Luvussa 4 tarkastellaan POLKU-hankkeeseen valituille neljälle alueelle muotoiltujen jätehuoltojärjestelmien ympäristö- ja kustannusvaikutusten arvioinnin tulokset. Järjestelmät pohjautuvat olemassa oleviin laitoksiin ja suunnitelmiin, eikä niiden tarkastelussa ole pyritty optimoimaan jätehuoltojärjestelmää. Tulosten käytöllä on siten paljon rajoituksia, jotka esitetään tarkastelun yhteydessä.

Sekä jätelajikohtaiset hyödyntämis- ja käsittelyketjut että alueelliset järjestelmävaihtoehdot esitetään liitteeseen 1 kootuissa kaavioissa.

Luvussa 5 luodaan katsaus tulevaisuuden polttoteknologioiden mahdollisuuksiin jätteiden hyödyntämisen lisäämiseksi. Katsaus perustuu hankkeessa tehtyyn erilliselvitykseen.

Luvussa 6 esitetään tulosten tarkastelu ja tehdään näiden pohjalta johtopäätökset.

2 Haasteita elinkaariarvioinnin, kustannustarkastelun ja jätehuollon maailmojen yhdistämisessä

2.1

Jätehuollon elinkaariarvioinnin haasteita

Elinkaariarviointi on tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostamista ja arviointia. Tutkimus kattaa tuotejärjestelmän kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta lopputuotteena syntyvien jätteiden loppusijoitukseen saakka, ja tuloksena saadaan tuotteen aiheuttamat ympäristövaikutukset – ja tarvittaessa myös kustannukset.

Sovellettaessa elinkaariarviointia jätteiden hyödyntämiseen, perusrajausena on, että tarkasteltavien jätelajien sisältämät aineet ja esineet eivät kannu rasitteenaan tuotanto- ja kulutusjärjestelmissä muodostunutta ympäristö- ja kustannuskuormaa. Jätteitä synnyttävät tuotanto- ja kulutusjärjestelmät voidaan rajata tarkasteltavan tuotejärjestelmän ulkopuolelle, koska jätteeksi päätyvien tuotteiden katsotaan jo täyttäneen sen toiminnon, jota varten ne alun perin on tuotettu ja jolle näiden järjestelmien ympäristövaikutukset ja -kustannukset kuuluvat. Lisäksi eri jätehuoltovaihtoehtoja vertailtaessa jätteitä synnyttävät tuotanto- ja kulutusjärjestelmät eivät ole tutkimuksen kannalta tärkeitä, kunhan jätteiden määrä ja ominaisuudet ovat riittävän hyvin tiedossa.

Jätteiden hyödyntämistarkastelut nostavat esille myös kysymyksen jätteiden synnyn ehkäisyn vaikutuksesta kierrätyksellä tavoiteltaviin ympäristö- ja kustannushyötyihin. Niin sanottu absoluuttinen jätteiden synnyn ehkäisy toteutuu, kun henkilöä kohden muodostuvan jätteen määrä jollakin aikajaksolla pienenee. Tällainen pieneminen voi olla mahdollista vain, kun erilaiset tarpeet tyydytetään vähemmällä materiaalikulutuksella henkilöä kohden: kuluttamalla vähemmän tuotteita, valmistamalla tuotteet pienemmällä materiaalmäärällä ja minimoimalla tuotantojätteiden määrä. Kaikki edellä mainitut asiat kuuluvat tuotanto- ja kulutusjärjestelmien piiriin ja niihin ei ole vaikutettavissa jätehuollon järjestämisellä. Kierrätysjärjestelmien kannalta absoluuttisen jätteiden synnyn ehkäisyn toteutuminen tarkoittaisi niihin ohjautuvan jätemäärän vähentymistä ja siten jätepohjaisen raaka-aineosuuden pienentymistä hyödyntämisprosesseissa. Elinkaaritarkastelun näkökulmassa tällöin vain pienempi osuus neitseellisistä raaka-aineista tulisi korvattua kierrätysraaka-aineilla, mikäli tarkasteltavassa hyödyntämisjärjestelmässä ei myös valmistettavan tuotteen määrä vähene. Kierrätyksellä saavutettavien ympäristö- ja kustannushyötyjen merkityksen määrittävät siten tuotanto- ja kulutusjärjestelmien piiriin kuuluvat asiat sekä välittävät jätehuoltotoimet.

Jätehuollolla on kuitenkin materiaalikiertojen ja ympäristövaikutusten kannalta merkittävä rooli sen vuoksi, että jätehuollon toimilla voidaan minimoida loppusijoitettavaa määrää ja haitallisia ominaisuuksia käsittelemällä materiaalit tehokkaasti ja ohjaamalla niitä kierrätysraaka-aineiden tuotantoon.

Kierrätyksen reunaehdot ja hyötyjen arvioinnin haasteita

Kierrätyksen avulla voidaan pidentää kerran luonnosta tai alkutuotannosta otetun materiaalin käyttöikää ennen lopullista sijoittamista kaatopaikalle tai ohjaamista erilaisina päästöinä luonnon kiertoihin. Kaikki materiaali on kierrätettävissä, mutta energiantarve, ympäristövaikutukset ja kustannukset voivat rajoittaa kierrätyksen tarkoituksenmukaisuutta. Kierrätyksen ympäristönsuojelullisen järkevyyden ehtona voidaankin pitää sitä, että kierrätysraaka-aineen hankinta ja hyödyntäminen pienentävät tai eivät ainakaan lisää energian tuotantotarvetta, päästöjä tai päästöjen haitallisuutta. Kierrätystä voidaan toteuttaa myös puhtaasti taloudellisen toiminnan lähtökohdista, jos jonkin materiaalin hankinta jätteistä on tuotantotoimijoiden kannalta taloudellisesti edullisin toimintamalli.

Kierrätyksen hyötyjen arviointi elinkaariarvioinnin avulla ei ole yksiselitteistä. Laaja kansainvälinen jätehuoltovaihtoehtojen elinkaariarviointeja vertaileva tutkimus (WRAP 2006) kohdistui satoihin arviointeihin, joista 55 tieteellisyyden kriteerit täyttäväksi arvioitua työtä valittiin lähempään tarkasteluun. Tarkastelluissa tutkimuksissa esiintyi suurta variaatiota hyötyjen muodostumisessa. Merkittäviksi eroja selittäviksi tekijöiksi tunnistettiin arvioinnissa käytetty energialaji ja kierrätysprosessityyppi. Tämän vertailututkimuksen perusteella näyttäisi, että useimmiten kierrätys vähentää ympäristökuormitusta ja poltto olisi kaatopaikkasijoitusta edullisempi vaihtoehto.

Kierrätyksen toteutuksen ensimmäisenä perusreunaehtona on aidon syyn olemassaolo eli on löydettävä yksi tai useampi tuote, joka voidaan valmistaa juuri tietyistä ja tietyllä alueella tarkastelun kohteena olevasta jätelajista. Kierrätysraaka-ainetta hyödyntävien tuotteiden löytyminen puolestaan on sidoksissa moniin seikkoihin. Tuotteelle on oltava aito kysyntä, mikä määrittelee kierrätysraaka-aineen määrällisen kysynnän ja lisäksi asettaa ehdot kierrätysraaka-aineen laatuominaisuuksille, toimitusvarmuudelle ja hinnalle. Tuotteen valmistustekniikoiden on sovelluttava kierrätysraaka-aineen käyttöön ilman merkittävää kustannustason nousua suhteessa neitseellisen raaka-aineen käyttöön. Kierrätysraaka-aineen toimitusvarmuus ja sen hyödyntämisen edellyttämä tuotantoteknologia kytkevät myös neitseelliset raaka-aineet kierrätyskonseptiin: onko toimitusvarmuus taattavissa täydentävällä neitseellisen raaka-aineen käytöllä ja soveltuuko kierrätykseen perustuva tuotantoteknologia lähes sellaisenaan myös neitseellisen raaka-aineen käytölle? Edellä mainitut seikat luovat kierrätysmateriaalien hyödyntämiselle tuotteissa selkeästi paljon moninaisemmat reunaehdot kuin hyödyntämiselle energiatuotteissa. Tällaiset seikat aiheuttavat myös sen, että ei voida esittää mitään kierrätyksen yleistä kaikkialla ja kaikissa oloissa toimivaa mallia; kierrätyksen toteuttaminen on aina tapauskohtaisesti harkittava toiminto. Kierrätysraaka-aine kilpailee aina neitseellisten raaka-aineiden kanssa ja on luonteeltaan korvaava vaihtoehto näille.

Edellä kuvattu tarkastelu nostaa keskeisesti esille tuotteen valmistajat sekä kierrätysraaka-aineen hankkijoiden (jätehuoltotoimijat) ja tuottajien olemassaolon ja sijainnin. Potentiaalisia hyödyntäjiä (tuotteiden valmistaja) ovat jo olemassa olevat tuotantotoimijat sijaintipaikkoineen, mutta aina nämä eivät sovi yksiin jätteiden hyödyntämistarpeen sijaintipaikan kanssa. Tämä konkretisoituu erityisesti, kun jätteen hyödyntäminen tuottaa lämpöä (kaukolämpöä ja/tai teollisuushöyryä). Käytännössä lämmön tuotantopaikka voi tuskin olla kovin etäällä kulutusmarkkinasta. Tässä näkökulmassa jätelajin tai kierrätyspolttoaineen hankinta-alueen laajuus suhteessa lämmöntuotannon kapasiteettiin tulee perusreunaehdoksi, joka konkretisoituu kuljetusten määrän ja mahdollisen kierrätyspolttoainetuotannon vaikutuksena energia- ja päästötaseisiin.

Kierrätys on järjestelmä, joka samanaikaisesti synnyttää ympäristö- ja kustannusmuutoksia sekä neitseellisessä tuotantojärjestelmässä että muutoin välttämättömässä jätehuoltojärjestelmässä. Täten kierrätyksen kokonaisyhyöty muodostuu sekä neitseellisen tuotannon että jätehuollon suhteen tehtävistä arvioinneista. Neitseellisen tuotannon ja kierrätyksen hyötyvertailussa kohteena voi olla samanlainen tuote tai täysin eri tuotteet. Rajoituksena on kuitenkin, että neitseellisen raaka-aineen täytyy olla korvattavissa tarkasteltavalla kierrätysraaka-aineella. Kierrätysraaka-aineen varsinainen hyödyntäminen eli valmistus jotakin tarvetta vastaavaksi tuotteeksi voi olla neitseellisen tuotannon kanssa täysin yhdenmukainen tai modifioitu tai täysin omanlaisensa toimintokokonaisuus. Mikään materiaali ei kuitenkaan ole kierrätettävissä ikuisesti kierrätyksessä tapahtuvan materiaalisen hävikin sekä materiaalien, erityisesti eloperäisten materiaalien, ominaisuuksien heikkenemisen takia.

POLKU-hankkeessa jätteiden hyödyntämisellä saatavien hyötyjen tarkasteluun sovellettiin niin sanottua hyvitysten arviointia. Tällöin arvioidaan esimerkiksi jätteen poltolla tuotetun energian mahdollisuus korvata jotakin muulla polttoaineella tuotettua energiaa. Mikäli voidaan katsoa että jäteperäinen polttoaine korvaa esimerkiksi öljyä, voidaan jätteen energiahyödyntämisen avulla välttää öljyn poltosta syntyvät päästöt. Nämä vältetyt päästöt vähennetään tarkasteltavassa kierrätysjärjestelmässä syntyviksi arvioiduista päästöistä. Tällä tavoin lasketut erotukset ovat kierrätysjärjestelmän suhteen joko positiivisia tai negatiivisia hyvityksiä. Vastaavasti, jos jätemuovin katsotaan voivan korvata neitseellisen muovin käyttöä, voidaan jätemuovin materiaalihyödyntämisellä välttää neitseellisen muovin tuotannon päästöt. Aina ei välttämättä löydy energiamuotoa, jota jätteestä tuotettu energia korvaisi, ja vastaavasti jäteperäisestä raaka-aineesta valmistettu tuote saattaa tulla markkinoille uutena tuotteena, syrjäyttämättä mitään jo markkinoilla olevaa. Jos kierrätyksellä lisätään energian tai materiaalien tuotteiden valmistuskapasiteettia, on korvattavien toimintojen laskeminen järjestelmän hyväksi yleensä mahdotonta.

2.3

Elinkaarikustannusten määrittelyn haasteita

Yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten määrittely osana elinkaarivaikutuksia tarjoaa oleellista tietoa jätehuollon eri vaihtoehtojen kannattavuudesta, mutta elinkaarikustannusten laskennallakin on omat haasteensa. Elinkaarikustannusten määrittelyn tulee noudattaa mahdollisimman tarkasti valittua tuote- tai prosessirajausta, inventaariovaiheen tuloksia sekä määritettyjä hyvityksiä. Laskennan tulee kattaa tarkasteltavien vaihtoehtojen välittömät kustannukset, joita ovat perinteiset yksityistaloudelliset liiketoiminnan kustannukset ja toiminnan ympäristövaikutuksia kuvaavat kustannukset. Näiden ohella tulee ottaa huomioon epäsuorat vaikutukset, eli korvaavaan taloudelliseen toimintaan ja ympäristöhyvityksiin liittyvät vältetyt kustannukset.

Elinkaarikustannusten määrittely edellyttää, että liiketoiminnan kustannusten lisäksi on saatavilla arvioita ympäristövaikutusten kustannuksista. Kaikille ympäristövaikutuksille on harvoin mahdollista määrittää rahallista arvoa, jolloin elinkaarikustannukset jäävät tältä osin vain arvioksi ympäristövaikutusten synnyttämistä todellisista kustannuksista. EU:n jätteiden synnyn ehkäisyn ja kierrätyksen edistämiseksi laaditun strategian ympäristövaikutusten arvioinnissa todettiin jätehuoltovaihtoehtojen eroavan toisistaan eniten ilmastonmuutosvaikutusten osalta. Ilmastonmuutoksen yhteiskunnalle synnyttämää kustannusvaikutusta voidaan arvioida päästöoikeusmarkkinoilla noteeratun päästöoikeuden hinnalla, joka kuvaa fossiilisen hiilen puhdistamisen kustannuksia ja siten ilmastovaikutusten kustannuksia. Muiden päästöjen synnyttämien ympäristövaikutusten osalta voidaan tukeutua erilaisiin vaikutusarvioihin ja arvottamistutkimuksiin.

Edellistä suuremmat haasteet liittyvät jätehuollon toimijoiden taloudelliseen käyttäytymiseen. Ilmastopolitiikka kohdistaa parhaillaan merkittäviä muutospaineita jätehuollon toimintakenttään ja jätehuollon toimijat ovat selvästikin optimoimassa uudelleen toimintaansa. Tällainen asetelma luo haasteita elinkaarianalyysille: valitut skenaariot eivät välttämättä vastaa sitä suuntaa, jota alan toimijat haluavat edistää, ja tällöin myös kierrätysraaka-aineiden kehityssuunta on epävarma.

Toisinaan jätehuoltovaihtoehtoihin voi sisältyä niin merkittäviä järjestelmätason muutoksia, että on syytä olettaa suhteellisten hintojen muuttuvan – kustannuslaskennassa rajauksia ja yksittäisten prosessien vaikutuksia onkin aina tarkasteltava käytännön markkinoiden tasolla ja arvioitava, syntyykö toiminnan seurauksena myös perinteisen elinkaariarvioinnin rajauksen ulkopuolisia vaikutuksia. Hintojen muuttuessa jätehuollon toimijat optimoivat käyttäytymisensä uudelleen, mutta tämä ei yleensä tule otetuksi huomioon inventaariovaiheessa, joka perustuu teknologiseen tarkasteluun. Tästä seuraa, että elinkaarikustannukset kuvaavat tarkasteltavia jätehuollon vaihtoehtoja riittävän hyvin vain, kun suhteellisten hintojen ei odoteta muuttuvan.

Huolellisesti määriteltyjä elinkaarikustannuksia voidaan periaatteessa käyttää tarkasteltavien jätehuoltovaihtoehtojen suhteellisen paremmuuden vertailuun: vaihtoehto, johon liittyvät alhaisimmat nettomääräiset elinkaarikustannukset on paras. Tuote- tai prosessin elinkaarirajauksen mukaan määritellyt elinkaarikustannukset eivät kuitenkaan välttämättä aina kuvaa kaikkia yhteiskuntataloudellisesti oleellisia kustannuksia. Toisinaan elinkaari vaikutusten mielekäs rajaus saattaa jättää keskeisiä perinteisiä tuotannon kustannuseriä tarkastelun ulkopuolelle. Tällöin tarkasteltavien vaihtoehtojen vertailu pelkästään elinkaarikustannusten nojalla kuvaa vain vajavaisesti kannattavuuseroja ja voi olla jopa harhaanjohtavaa. Näissä tilanteissa elinkaarikustannusten täydentäminen ja rajauksen laajentaminen puuttuvilla kustannuksilla on tarpeen, jotta eri vaihtoehtojen vertailu olisi perusteltua.

3 Jätteiden hyödyntämismenettelyjen ympäristövaikutukset ja kustannukset

3.1

Lähtötiedot ja käytetyt menetelmät

Tutkimuksessa on vertailtu elinkaariarviointimenetelmän avulla jätehuoltoketjujen ja alueellisten järjestelmien päästöjä. Toiminnallisina yksiköinä, eli määränä, jota kohti tulokset on ilmoitettu, on jätelajikohtaisissa tarkasteluissa käytetty yhtä tuotettua jätelajitonnia ja alueellisissa tarkasteluissa alueella syntynyttä polttokelpoisten jätteiden kokonaisjättemäärää. Jätehuollon elinkaariarvioinneissa mallintamisessa sekä jätetonnikohtaiset että alueelliset tarkastelut ovat tyypillisiä (Björklund 2000, EASE-WASTE 2007, Environmental Agency 2007, Myllymaa ym. 2006).

POLKU-hankkeessa käytetyt menetelmät - ympäristövaikutusten elinkaariarviointi ja yhteiskunnallisten kustannusvaikutusten elinkaaritarkastelu - on kuvattu tarkemmin hankkeen yhteydessä laaditussa inventaarioraportissa (Myllymaa ym. 2008). Myös kaikki ympäristövaikutusten ja kustannuslaskelmien laadinnassa käytetyt prosessien lähtötiedot on raportoitu lähdeviitteineen inventaarioraportissa. Tässä luvussa esitetään vain joitakin tulosten kannalta merkittävimpiä prosessien lähtöparametreja. Kaikissa tilanteissa ei esim. lähtötietojen saatavuuteen liittyvistä syistä ole voitu käyttää välttämättä tyypillisimpiä tekniikkansa edustajia. Lisäksi eri energiaratkaisut eroavat toisistaan paitsi hyvitettäviltä polttoaineiltaan, myös laitosten rakennussuhteilta.

3.1.1

Polttoaineiden CO₂-ekv-päästökertoimet

Sekajätteen poltossa syntyneiden fossiilisten hiilidioksidipäästöjen määrä on arvioitu laskelmissa Tilastokeskuksen polttoaineluokitukseen perustuvalla kertoimella, jonka mukaan sekajätteen CO₂-päästökerroin on 31,8 kg CO₂-ekv/GJ (Tilastokeskus 2005). Kun sekajätteen energiasisältö on noin 11 MJ/kg, sen polton päästöt ovat noin 350 kg CO₂-ekv/sekajätetonni. Todellisuudessa jätteen polton päästöt vaihtelevat mm. jätteen muovi- ja puupitoisuuden mukaan. Tilastokeskukselle teetetyssä diplomityössä (Jokinen 2004) todetaan lämpöarvon korreloivan niin hyvin jätepolttoaineen palavan fossiilisen osuuden kanssa, että kerroin on melko yleispätevä.

POLKU-hankkeessa tehdyissä energiahyödyntämisen tarkasteluissa on lähtökohdanna, että voimalaitostyyppistä riippumatta poltossa vapautuu hiilidioksidina koko haihtumiskelpoinen hiilisisältö. Neitseellisten polttoaineiden polttoainekohtaiset CO₂-ekv-päästökertoimet on määritellyt Tilastokeskus (2005) (Taulukko 1). Energiantuotannossa muodostuvan hiilidioksidipäästön määrä hyödynnettäväksi tuotettua energiayksikköä kohden sen sijaan riippuu suoraan hyötysuhteesta, joka on sidoksissa sekä voimalaitostyyppiin että energian (alueelliseen) kysyntään/tarpeeseen.

Tässä tutkimuksessa mallinnettujen jätteenpolttolaitosten ja olemassa olevien sähkön ja lämmön perinteisten energiantuotantolaitosten tuotantorakenne on selvitetty alueellisesti, ja järjestelmät on mallinnettu vastaamaan alueellista markkinakysyntää. Tuotettua energiayksikköä kohti (GJ_{out}) ilmoitettuna päästön määrä on noin 1,1 – 2,6-kertainen verrattuna polttoaineen energiasisältöä kohti ilmoitettuun arvoon (Taulukko 1). Päästön määräytyminen kytkeytyy tässä tutkimuksessa energian saannoksi nimettyyn muuttujaan, joka kuvaa käytännössä hyötykäyttöön päätyvän energian määrää: lauhdeksi tuotettua lämpöä ei ole laskettu energialaitoksen tuottamaksi energiaksi eli hyödyksi. Energian saanto on aina perinteisesti käytettyä energian kokonaishyötysuhdetta pienempi arvo, koska kokonaishyötysuhde kuvaa optimitilannetta ja energian saanto puolestaan vuodenaikavaihtelut ym. tekijät huomioivaa, todellista energian tuotannon ja käytön tilannetta.

Taulukko 1. Eri polttoaineiden päästöt, $kg\ CO_2$ -ekv, polttoaineiden energiasisältöä kohti (Tilastokeskus 2005) sekä tuotettua energiayksikköä kohti ilmoitettuna. Energian saanto kuvaa hyötykäyttöön menevää osuutta tuotetusta energiasta.

Polttoaine	CO_2 , kg/GJ_{in}	Tuote	Energian saanto, %	CO_2 , kg/GJ_{out}
Kivihiililauhdevoima	95	Sähkö	37	254
Kivihiili, CHP	95	sähkö ja lämpö	91	104
Turpeen polttaminen	106	sähkö ja lämpö	60 – 83	130 – 180
Öljyn polttaminen	77	Lämpö	90	86
Maakaasuturbiini	56	sähkö ja lämpö	83	67
Puun polttaminen	1	sähkö ja/tai lämpö	-	1

3.1.2

Ympäristövaikutusten arvioinnissa käytetyt kertoimet

Karakterisointikertoimien avulla eri päästöt voidaan laskea yhteismitallisiksi eri ympäristövaikutusluokissa. Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidin lisäksi metaani ja typpioksiduuli. IPCC:n määritelmien mukaan hiilidioksidin karakterisointikerroin on 1, kun taas metaani on viimeisimpien tutkimusten mukaan 25- ja typpioksiduuli 298-kertaisesti hiilidioksidia pahempi kasvihuonekaasu, joten hiilidioksidiekvivalentiksi laskettuna metaani saa kertoimen 25 ja typpioksiduuli 298 (Solomon ym. 2007). Muita tarkasteltuja vaikutusluokkia ovat hiukkasvaikutus, myrkyllisyys ihmiselle, ekotoksisuus maaperässä, ekotoksisuus vesistöissä, otsonin terveysvaikutukset, kasvillisuuden otsonivauriot, maaperän rehevöityminen, vesien rehevöityminen sekä happamoituminen. Näihin vaikutusluokkiin liittyvien päästöjen karakterisointikerroimet on kuvattu liitteessä 1.

Vaikutusluokkatulokset voidaan suhteuttaa eli normalisoida jonkin alueen, esim. Suomen vastaavilla vaikutusluokkatuloksilla, jolloin saadaan ympäristövaikutusten suhteellinen merkitys vallitsevaan tilanteeseen nähden. Normalisoinnin jälkeen vaikutusluokkakohdaiset tulokset ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. POLKU-hankkeessa käytetyt normalisointitekijät on esitetty taulukossa 2.

Eri ympäristövaikutusten merkitystä ympäristön ja terveyden suojelun tavoitteiden ja vallitsevan tilanteen kannalta voidaan tarkastella arvioimalla niiden merkitsevyyttä toisiinsa nähden sen sijaan, että oletettaisiin kaikki ympäristövaikutusluokat yhtä tärkeiksi. POLKU-hankkeessa käytetyt ympäristövaikutusluokkakohdaiset painokertoimet ovat taulukossa 3. Koska jätelajikohtaiset normalisoidut ja painotetut tulokset olisivat yksiköltään luokkaa 10^{-10} , kuvaajien havainnollisuutta on lisätty kertomalla painotetut vaikutusluokkaindikaattorien tulokset luvulla 10 000 000 000. Painotetut vaikutusluokkaindikaattoriarvot ovat yksiköttömiä lukuja.

Taulukko 2. Koko Suomen päästöt, joita on käytetty tutkimuksessa syntyvien päästöjen normalisointitekijöinä (ENVIMAT 2008).

Päästöt ilmaan, 1000 kg/vuosi		Päästöt vesiin, 1000 kg/vuosi	
CO ₂ -bio	30 306 852	Ptot	3 947
CO ₂ -fos	68 968 741	Ntot	64 125
CH ₄	246 063	As	1,2
N ₂ O	22 112	Cd	0,1
F	528 120	Co	1,1
SO ₂	95 104	Cr(III)	2,6
NO _x	275 054	Cr(VI)	0,2
NH ₃	33 252	Cu	4,3
NMVOOC	144 640	Hg	0,01
CO	566 264	Ni	6,7
As	3	Pb	0,2
Cd	1	Sb	0,003
Co	1	Sn	0,01
Cr	35	V	0,3
Cu	27	Zn	18
Hg	1	Fen	0,2
Ni	33		
Pb	34		
V	85		
Zn	58		
PAH	16		
Dioksiinit	0,00003		
TSP	72 720		
PM10	49 268		
PM2.5	34 453		
HF	1		
HCl	5		
H ₂ S	906		
halonit	1		

Taulukko 3. Ympäristövaikutusluokille käytetyt painokerroimet (ENVIMAT 2008). POLKU-hankkeessa ei tarkasteltu vaikutusluokkia abiottisten luonnonvarojen väheneminen ja lajiston väheneminen.

Vaikutusluokka	Painokerroin
Ilmastonmuutos	0,20
Otsonikerroksen oheneminen	0,07
Happamoituminen	0,05
Vesien rehevöityminen	0,12
Maaperän rehevöityminen	0,06
Otsonin terveysvaikutukset	0,01
Kasvillisuuden otsonivauriot	0,04
Ekotoksisuus, vesistöt	0,04
Ekotoksisuus, maaperä	0,04
Myrkyllisyys ihmiselle	0,08
Hiukkasvaikutus	0,09
Abiottisten luonnonvarojen väheneminen	0,10
Lajiston väheneminen	0,11

3.1.3

Kustannuslaskennassa tarkasteltavat kustannuserät

Elinkaariarvioinnissa tarkasteltaville jätteen käsittely- ja hyödyntämisjärjestelmille muodostetaan tutkimuksessa elinkaariarvioinnin järjestelmärajauksia ja yksikköprosesseja noudattaen elinkaaren aikaiset yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset. Jätteen käsittely- ja hyödyntämisjärjestelmästä syntyvät elinkaaren aikaiset yhteiskunnalliset nettokustannukset muodostuvat yksityistaloudellisista kustannuseristä ja markkinoilla esiintymättömistä ympäristökustannuksista:

$$(1) \text{ Yhteiskunnalliset nettokustannukset} = \text{Yksityistaloudelliset nettokustannukset} + \text{Ympäristönettokustannukset}$$

Yksityistaloudellisia kustannuksia ovat tavanomaiset taloudenpitäjälle koituvat investointi- ja käyttökustannukset. Tästä kustannuserästä käytetään jatkossa myös nimitystä jätteen hyödyntämisketjun kustannukset. Jätettä hyödyntämällä saadaan kustannussäästöjä talouden muilla sektoreilla, jos voidaan välttää muiden polttoainneiden tai raaka-ainneiden käyttöä. Näistä taloudellisista hyödyistä käytetään jatkossa myös nimitystä vältetyn tuotannon kustannukset. Talouden toimijalta toiselle tai valtiolle maksettavia maksuja tai veroja ei ole tarpeen huomioida yhteiskunnallisen tason laskelmissa, koska tällaiset ns. siirtosummat supistuvat pois kokonaislaskelmasta, sillä toisen toimijan tulo on toisen toimijan meno. Yksityistaloudellisten nettokustannusten muodostumista kuvastaa siten yhtälö (2):

$$(2) \text{ Yksityistaloudelliset nettokustannukset} = \text{Jätteen hyödyntämisketjun kustannukset} - \text{Vältetyn tuotannon kustannukset}$$

Markkinoilla esiintyvien kustannuserien lisäksi yhteiskunnallisiin kustannuksiin lukeutuvat päästöjen aiheuttamat ja aiheutumatta jäävät kustannusvaikutukset. Ympäristönettokustannukset muodostuvat päästövaikutusten synnyttämistä ympäristökustannuksista ja vältettyjen päästövaikutusten eli ympäristöhyvitysten rahallisesta arvosta:

$$(3) \text{ Ympäristönettokustannukset} = \text{Ympäristökustannukset} - \text{Ympäristöhyvitykset}$$

Kokonaisuudessaan yhteiskunnallinen kustannuslaskelma koostuu siis neljästä kustannuserästä:

$$\text{Yhteiskunnalliset nettokustannukset} = \text{Jätteen hyödyntämisketjun kustannukset} - \text{Vältetyn tuotannon kustannukset} + \text{Ympäristökustannukset} - \text{Ympäristöhyvitykset}.$$

Kustannuslaskennan menetelmää ja kustannuserien muodostamista on tarkemmin kuvattu POLKU-hankkeen yhteydessä laaditussa inventaarioraportissa (Myllymaa ym. 2008). Inventaarioraportti esittää myös kaikki kustannuslaskennassa käytetyt lähtötiedot.

3.1.4

Yksikkökustannukset ympäristövaikutusten laskennassa

Pääosalle ympäristövaikutuksia ei löydy markkinahintaa, vaan hinta joudutaan määrittämään käyttäen taloustieteellisiä menetelmiä. Erilaisten suorien ja epäsuorien menetelmien avulla useille päästöille on tuotettu suuruusluokka-arviot niiden kustannusvaikutuksista. Taulukkoon 4 on koottu kirjallisuuteen perustuvat keskimääräiset yksikkökustannukset, joita käytetään tässä tutkimuksessa.

Taulukko 4. Ympäristökustannusten laskennassa käytetyt yksikköhinnat

Päästö	e/t	
N ja N-ekvivalentit	357,00	(Lankoski ym. 2008)
CO ₂ ja CO ₂ -ekvivalentit	20,00	(Bickel ja Friedrich 2005)
SO ₂	970,00	(Nordic Council of Ministers 2007)
NO _x	900,00	(Heatco 2007)
Pienhiukkaset	1 975,50	(Eunomia Research & Consulting 2002)
pienhiukkaset < 2,5 ppm	6 000,00	(Heatco 2007)
dioksiinit	9 984 899 000,00	(Eunomia Research & Consulting 2002)

3.2

Sekajäte

3.2.1

Arinapoltto teollisuusalueella

Useissa Keski-Euroopan maissa sekajätettä on pitkään hyödynnetty jätteenpoltoon suunnitelluissa arinapolttolaitoksissa (Myllymaa ym. 2008). Arinalaitoksen sijainti ratkaisee käytännössä sen, mitä polttoaineita tuotettu energia voi korvata ja miten suuri osa laitoksen tuottamasta energiasta voidaan hyödyntää. Pelkkä polttolaitoksen rakennussuhde¹ tai tuotetun energian kokonaishyötysuhde² eivät järjestelmätarkastelujen näkökulmasta ole ratkaisevia, vaan se, miten suuri osa tuotetusta energiasta todella saadaan hyötykäyttöön eli miten suuri osa tuotetusta energiasta todella tulee kulutetuksi. Vallitsevasta energian tarpeesta riippuen laitoksen tuottaman energian saanto järjestelmän kannalta vaihtelee siis olennaisesti, etenkin aluetasolla.

Tasaisesti prosessihöyryä tarvitsevan teollisuuslaitoksen yhteydessä toimivassa arinalaitoksessa hyötykäyttöön ohjautuvan energian määrä voidaan maksimoida ja jätepolttoaineen energiasisällöstä jopa noin 80 % saada hyötykäyttöön (Myllymaa ym. 2008). Taajamissa sen sijaan jo rakennetut energiajärjestelmät vastaavat todennäköisesti melko hyvin alueen lämmön ja sähkön tarvetta, jolloin tuotetulle lämmölle ei välttämättä löydy käyttöä. Tämä pienentää hyötykäyttöön päätyvän energian määrää jopa puoleen teollisuushöyryvaihtoehdosta (Myllymaa ym. 2008, luku 3.3.4).

3.2.1.1

Korvattavina polttoaineina puu, maakaasu ja kivihiili (Sj 1)

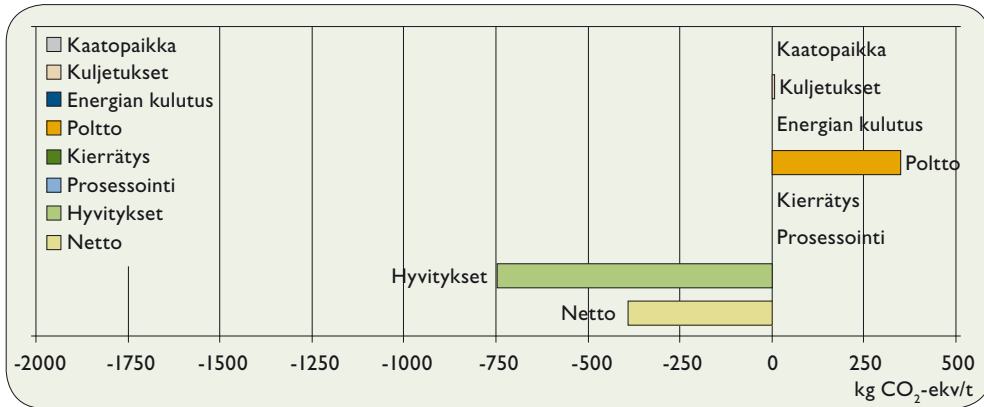
Ensimmäisessä sekajätteen käsittelyvaihtoehdossa oletetaan, että lämpöenergian käyttää puunjalostusteollisuuden laitos Etelä-Suomessa (esim. Kirkniemi). Tällöin arinalaitoksen tuottama energia korvaisi tehtaan lämpölaitoksen käyttämiä polttoaineita, tässä oletuksena puuta ja maakaasua (Liite 2, Kuva 1). Arinalaitoksen tuottaman sähkön oletettiin korvaavan kivihiililauhdetta, jota käytetään (tilanne v. 2008) ns. marginaalisähkön tuotannossa tasaamaan sähkönkulutuksen vaihteluita (Myllymaa ym. 2008). Marginaalisähkön tuotantoa voidaan pitää sopivimpana valintana silloin, jos arinalaitoksen vaikutuspiirissä ei ole löydettävissä lämpöä ja sähköä tuottavaa yhteistuotantolaitosta, jonka toimintaan arinapolttolaitos vaikuttaisi.

Mallinnuksen tulokseksi saadaan, että poltetusta tuhannesta sekajätetonnista syntyy noin 190 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa jätettä, noin 70 t ongel-

¹ Rakennussuhde (rakennusaste) tarkoittaa energialaitoksen tuottaman sähkön ja lämmön tuotannon suhdetta (sähköteho/lämpöteho), kun myös lauhde-energia lasketaan mukaan tuotettuun lämpöenergiamäärään. Mitä pienempi rakennussuhde, sitä pienempi osa tuotetusta energiasta on sähköä.

² Energiantuotannon kokonaishyötysuhteella tarkoitetaan energiatekniikassa laitoksen tuottaman sähkö- ja lämpöenergian suhdetta syötettyjen polttoaineiden energiasisältöön silloin, kun laitosta käytetään mitoitussarvoilla.

majätteeksi luokiteltavaa jätettä ja noin 8900 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä (Myllymaa ym. 2008) (Liite 2, Kuva 1). Päästöinä ilmoitettuna sekajätteen poltolla saatuttava nettohyöty on noin 390 kg CO₂-ekv/sekajätetonne (Kuva 1), kun tuotetulla energialla korvataan puuta, maakaasua ja kivihiiltä. Sekajätteen poltolla vältetyistä CO₂-päästöistä eli ns. hyvityksistä noin 90 % johtuu oletuksesta, että lauhdevoimalan kivihiileen perustuva sähkön tuotanto korvataan jätepohjaisella energialla. Kivihiilen louhinnan ja puun tuotannon merkitys hyvitysten muodostumisessa puolestaan jää saaduissa tuloksissa vähäiseksi (Taulukko 5).



Kuva 1. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen arinapoltosta jätetonna kohti (Sj 1), kun tuotettu lämpöenergia korvaa puun ja maakaasun polttoa ja sähkö lauhdevoimalassa kivihiilellä tuotettua sähköä (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja jätteenpoltolla vältetyn energiantuotannon päästöt negatiivisina (hyvitykset). Sekajätteen siirtoajon matkana on käytetty 48 km (Kirkniemi – Ämmässuo).

Taulukko 5. Sekajätteen polton myötä syntyneiden hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t jätettä kohti, kun arinapoltolla tuotettu energia korvaa kivihiiltä, puuta ja maakaasua. Kivihiililauhteella tuotetun energian päästökerroin on 95 kg CO₂/GJ eli noin 250 kg CO₂/GJ tuotettua sähköenergiaa (Myllymaa ym. 2008). Sekajätteen siirtoajon matkana on käytetty 48 km (Kirkniemi – Ämmässuo).

Vältettyjen päästöjen (hyvitysten) alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Puun ja maakaasun polton tuhkien kuljetus kaatopaikalle	-3	0 %
Kivihiilituhkien kuljetus kaatopaikalle	-11	0 %
Lämmön tuotanto, puu 85 % + maakaasu 15 %	-5 000	-1 %
Maakaasun tuotanto	-7 000	-1 %
Puun tuotanto ja korjuuhakkuut	-12 000	-2 %
Kivihiilen louhinta	-41 000	-6 %
Sähkön tuotanto, kivihiililauhde	-662 000	-91 %
	-726 000	

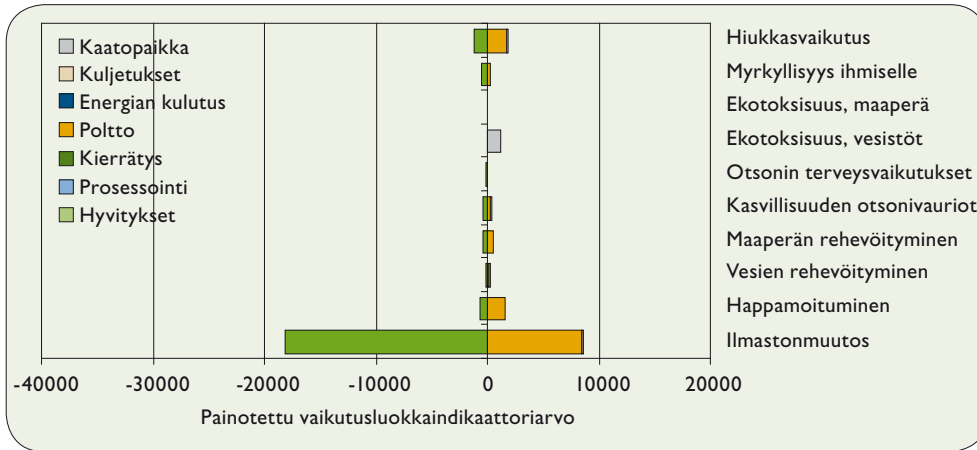
Edellä mainituin oletuksin mallinnetun sekajätteen arinapolton potentiaalisista ympäristövaikutuksista merkittävin on ilmastomuutosvaikutus (Kuva 2), niin polton aiheuttamien vaikutusten kuin siitä saatavien hyvitysten kannalta. Seuraavaksi merkittävimpinä ovat hiukkaspäästöjen aiheuttama ihmisten eliniänodotteen laskeminen ja happamoituminen, jotka aiheutuvat poltossa syntyvistä SO_x - ja NO_x -päästöistä. Vesistöihin kohdistuva potentiaalinen ekotoksisuusvaikutus johtuu kaatopaikalle sijoitettavan tuhkan sisältämästä kuparista.

Mallinnetussa teollisuusalueen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa poltettavan sekajätteen merkittävimmät kustannusvaikutukset syntyvät perinteisistä markkinoilla esiintyvistä kustannuseristä, eli pääoma-, käsittely- ja kuljetuskustannuksista (Kuva 3). Sekajätteen keräys ja kuljetus kotitalouksilta eli jätteen noutotyö (59 e/t) aiheuttaa polttoprosessin ohella merkittävimmän osan – noin 40 % - kustannuksista. Muita kuljetuskustannuksia aiheutuu sekajätteen siirtokuljetuksesta noin 50 kilometrin etäisyydelle ja tuhkien kuljetuksesta loppusijoitukseen. Kaiken kaikkiaan kuljetusten osuus on hyvin merkittävä, yli 50 % kokonaiskustannuksista. Lisäksi kustannuksia syntyy arinapolttolaitoksen tuhkien loppusijoittamisesta. Kustannusten muodostamisessa käytetyt lähtötiedot on raportoitu tarkemmin julkaisussa Myllymaa ym. (2008).

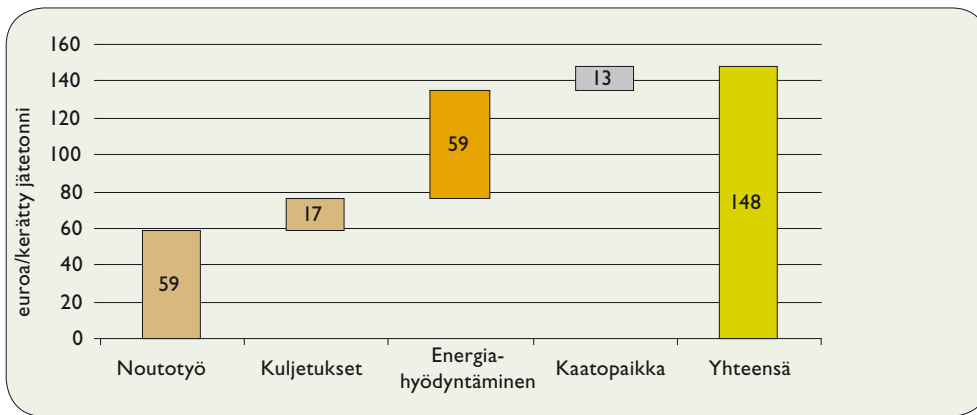
Kun perinteisten yksityistaloudellisten kustannusten lisäksi huomioidaan sekajätteen polton vaikutukset myös järjestelmän muilla osa-alueilla, saadaan tulokseksi järjestelmän yhteiskunnalliset nettokustannukset. Yhteiskunnallinen kustannusvaikutus syntyy neljästä kustannuserästä, jotka ovat edellä eriteltyt yksityistaloudelliset kustannuserät (Kuva 3), ympäristökustannukset, korvattavan energiantuotannon vältetyt kustannukset ja vältetyt ympäristökustannukset (Kuva 4). Kustannuslaskelman kustannuserien muodostaminen on myös kuvattu tarkemmin julkaisussa Myllymaa ym. (2008).

Kun siirrytään tuottamaan energiaa sekajätteestä, yhteiskunnassa syntyy kustannussäästöjä, jos voidaan välttää sähköntuotantoa kivihieillä ja lämmöntuotantoa puulla ja maakaasulla. Lisäksi saadaan säästöjä käyttämättä jäävien päästöoikeuksien muodossa, kun vältetään kivihiilen ja maakaasun polton hiilidioksidipäästöjä. Päästökauppahyvitys saadaan arinapolton osalta täysmääräisesti, koska päästökauppain soveltamispiiriin eivät kuulu polttolaitokset, joiden pääasiallinen tarkoitus on yhdyskuntajätteen hävittäminen (Päästökauppalaki 683/2004, 2 §).

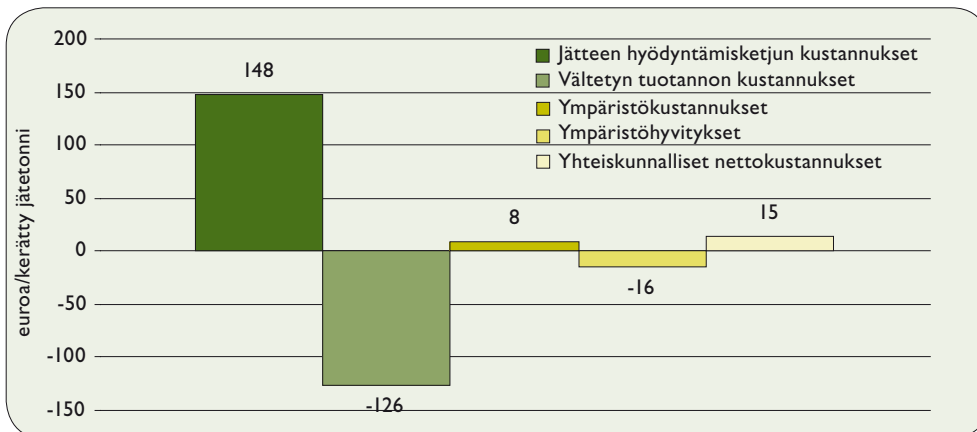
Sekajätteen arinapolto vältetään myös nykyisen kaatopaikkasijoituksen kustannukset. Vältetyn kaatopaikkasijoittamisen ympäristö- tai kustannusvaikutuksia ei kuitenkaan ole otettu huomioon tässä tutkimuksessa, sillä ympäristö- ja kustannusvaikutus olisi sama kaikissa tarkasteltavissa hyödyntämisen vaihtoehtoissa.



Kuva 2. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj I) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihlauhteella tuotettua sähköä. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 3. Sekajätteen (Sj I) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 4. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj I) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihlauhteella tuotettua sähköä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Ympäristökustannusten ja -hyvitysten merkitys on yksityistaloudellisiin kustannuseriin verrattuna hyvin pieni. Ympäristökustannukset ja -hyvitykset riippuvat järjestelmien päästöistä, joista suurin merkitys on hiilidioksidipäästöillä ja -hyvityksillä: jätehuollon ja arinapolton synnyttämistä ympäristökustannuksista 90 % aiheutuu CO₂-ekv-päästöistä. SO₂- ja NO_x-päästöt vastaavat kumpikin noin viiden prosentin osuutta kustannuksista, pienhiukkasten ja dioksiinien kustannusvaikutus on mitätön huolimatta niille sovelletuista suurista arvottomisluvuista (Taulukko 4). Niin ikään korvattavan energiantuotannon avulla vältetyistä ympäristökustannuksista hiilidioksidiekvivalentit kattavat 96 % kaikista vältetyistä kustannuksista.

Yhteiskunnalle koitua nettokustannusvaikutus sekajätteen arinapoltoasta teollisuuslaitoksen yhteydessä on kokonaisuudessaan positiivinen (Kuva 4), noin 15 e/sekajätetonne. Tämä tarkoittaa, että tarkasteltavaan järjestelmään siirtymisestä yhteiskunnassa syntyvät kustannukset ovat suuremmat kuin saavutettavat kustannussäästöt. Korvattavan energiantuotannon kustannukset eli ns. vältetyt kustannukset (126 e/jätetonne, Kuva 4) ovat tässä tapauksessa alhaisemmat kuin tarkasteltavan hyödyntämisketjun synnyttämät kustannukset kokonaisuudessaan (148 e/jätetonne).

Energian tuotanto sekajätteen arinapoltoalla on korvattavaa energiantuotantoa kalliimpaa, koska arinapoltoalle kohdistuvat koko hyödyntämisketjun kustannukset, joihin sisältyvät myös kallis nouto- ja kuljetustyö. Suurista nouto- ja kuljetuskustannuksistaan johtuen sekajäte polttoaineena on korvattaviin energialähteisiin nähden kallis polttoaine.

Yhteiskunnallisia kustannuksia tarkasteleva näkökulma ei huomioi sitä käytännön tilannetta, että sekajäte on polttoaineena energiantuotantolaitokselle sille laskettua hankintahintaa (59 e/jätetonne) halvempaa tai jopa ilmaista, eli energialaitoksen kannalta jätteenpolto voi olla hyvinkin kannattavaa. Yhteiskunnan tasolla tarkasteltuna jätteen noudon- ja kuljetuksen kustannukset lankeavat kuitenkin maksettavaksi siitä huolimatta, että yksittäisen laitoksen pitäjän näkökulmasta energiantuotanto jätettä polttamalla saattaa olla kannattavampaa kuin energiantuotanto vaihtoehtoisista energialähteistä. Yhteiskunnan kannalta ei olennaista kuitenkaan ole vertailla kenelle missäkin tapauksessa syntyy voittoa vaan se, mikä tarkastelluista sekajätteen käsittelyvaihtoehdoista on kannattavin, kun kaatopaikkasijoitukseen perustuvasta käytännöstä on joka tapauksessa luovuttava.

3.2.1.2

Korvattavina polttoaineina öljy, puu, maakaasu ja kivihiihi (Sj 2)

Kun jätteiden polttolaitos sijoitetaan eri teollisuuslaitoksen yhteyteen, vältetyt polttoaineetkin vaihtuvat. Sekajätteen tonnikohtainen CO₂-päästökerroin säilyy samana, koska energiasisältö ei muutu, mutta järjestelmätarkastelujen näkökulmasta vältettävät päästöt riippuvat korvattavista polttoaineista.

Jos sekajätettä polttava arinalaitos sijoitettaisiin Keski-Suomeen, puunjalostusteollisuuden läheisyyteen (esim. Pirkanmaalle), tuotettu energia voisi korvata esimerkiksi tehtaan lämpölaitoksen käyttämiä öljyä, puuta ja pieniä määriä maakaasua (Liite 2, Kuva 2). Koska vain korvattavat polttoaineet vaihtuvat vaihtoehtoon Sj 1 verrattuna, massa- ja energiataseet ovat samat kuin edellä: tuhannesta sekajätetonnista syntyy noin 190 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa tuhka-jätettä, noin 70 t ongelmajätteen luokiteltavaa tuhka-jätettä ja noin 8900 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä (Liite 2, Kuva 2).

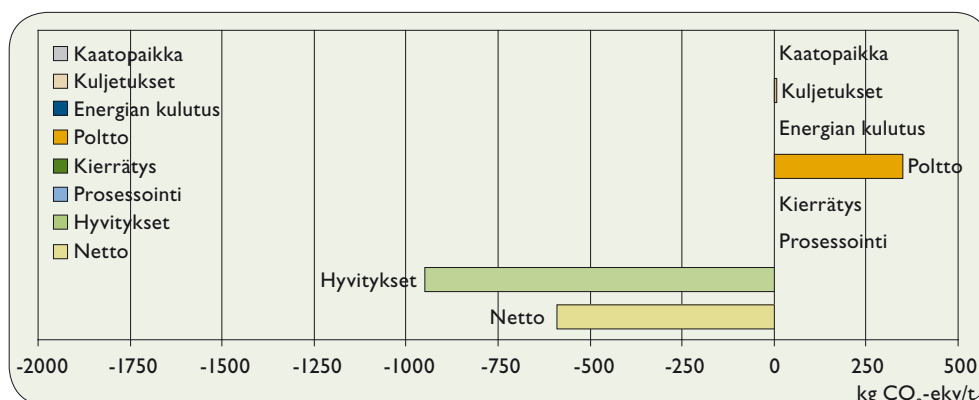
Vältetyt päästöt ovat suuremmat kuin puun, maakaasun ja kivihiihilauhteen korvaamisesta (luku 3.2.1.1), koska puuta korvataan vähemmän ja toisaalta samalla korvataan myös öljyä. Puun käytön välttämällä ei ilmastovaikutusten näkökulmasta saavuteta säästöjä, koska puun CO₂-päästökerroin on nolla käytettäessä IPCC:n kertoimia ja laskentaperiaatteita. Kaiken kaikkiaan hyvitysten suuruus on noin 950 kg CO₂-ekv/sekajätetonne, ja nettohyödyksi saadaan 590 kg CO₂-ekv/sekajätetonne (Kuva 5).

Hyödyistä pääosa, yli 70 %, on peräisin kivihiihellä toimivan lauhdevoimalan käytön välttämistä ja 15 % öljyn korvaamisesta (Taulukko 6).

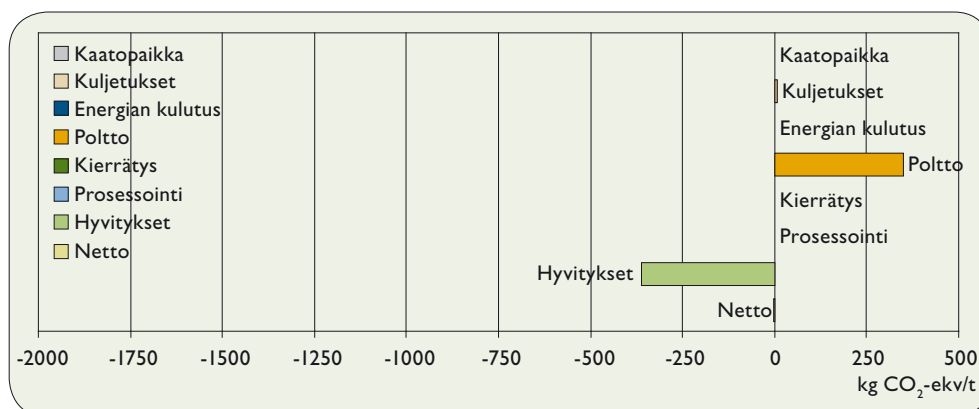
Merkittävimpien ympäristövaikutusten lista eroaa vaihtoehdosta 1 (Sj 1, Kuva 2) vain siltä osin, että öljyn polton välttämällä saadaan lähes kaikissa vaikutusluokissa suuremmat säästöt kuin puuta, maakaasua ja kivihiiltä poltettaessa. Vaikutuksista hallitsevin on edelleen ilmastonmuutos (Kuva 6), seuraavina ovat hiukkasvaikutus (öljyn polton SO_x - ja NO_x -päästöt) ja happamoituminen. Kuljetuksista syntyvien pienhiukkas päästöjen määrä on suhteellisesti niin pieni, ettei se erotu hiukkasvaikutuksia kuvaavassa vaikutusluokassa. Tuhkan sisältämä kupari erottuu vesiliöille aiheutuvana ekotoksisuusvaikutuksina.

Taulukko 6. Sekajätteen polton myötä syntyneiden hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t jätettä kohti, kun arinapoltolla tuotettu energia korvaa kivihiiltä, öljyä, puuta ja maakaasua.

Vältettyjen päästöjen (hyvitysten) alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Puun kasvu ja harvennustyö	-3 970	-0,4 %
Maakaasun tuotanto	-11 025	-1,0 %
Raskaan polttoöljyn tuotanto	-25 981	-3,0 %
Kivihiilen louhinta	-40 647	-4,0 %
Lämmön tuotanto, maakaasu	-42 164	-5,0 %
Lämpö, öljy 64 %, puu 36 %	-136 256	-15 %
Sähkön tuotanto, kivihiililauhde	-661 736	-72 %
	-921 779	-100 %



Kuva 5. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen arinapoltosta jätetonna kohti (Sj 2), kun tuotettu lämpöenergia korvaa öljyn, puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiililauhteella tuotettua sähköä (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 6. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj 2) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyn, puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiililauhteella tuotettua sähköä. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.

Kustannusten näkökulmasta perinteiset yksityistaloudelliset kustannuserät, eli pääoma-, käsittely- ja kuljetuskustannukset, säilyvät käytännössä samoina kuin vaihtoehdossa Sj 1, vaikka vältetyt polttoaineet muuttuvat (Kuva 3). Vertailulaitoksena on käytetty jokaisessa arinapolttovaihtoehdossa samaa laitosta, jolloin polttoprosessin yksikkökustannukset eroavat toisistaan vain laitospasiteetin aiheuttamien skaalavaikutusten ja jätteen nouto- ja siirtokuljetusten välisten erojen verran. Laitosten skaalausta on käytetty, koska eri alueilla on ollut tarvetta erikokoisille laitosratkaisuille (Myllymaa ym. 2008). Noutotyö puolestaan on arvioitu hieman halvemmaksi Pirkanmaan alueella (57 e/t) ja kuljetuskustannuksista puuttuvat siirtokuljetukset. Näiden muutosten jälkeenkin kustannusero on kuitenkin vain alle yksi euro kerättyä jätetonna kohden, eli alle prosentin, ja hyödyntämisketjun kustannuksiksi on muodostunut 148 e/jätetonna, kuten vaihtoehdossa Sj 1. Myös päästöjä kuvaavat ympäristökustannukset säilyvät ennallaan, koska hyödyntämisketjun päästöt eivät muutu merkittävästi ja ero päästövaikutuksissa syntyy ainoastaan kuljetuskilometreistä, joiden osuus jää häviävän pieneksi.

Korvattavien polttoaineiden vaihtaminen Pirkanmaan puunjalostusteollisuutta vastaaviksi näkyy kustannusvaikutuksissa lähinnä ympäristöhyvityksissä ja taloudellisissa kustannussäästöissä eli vältettyjen kustannusten kautta (Kuva 7). Korvattaessa energialähteinä kivihiihen, puun ja maakaasun lisäksi myös öljyä, saadaan luvussa 3.2.1.1 esitettyä arinapolttoratkaisua (Sj 1) suuremmat taloudelliset kustannussäästöt sekä energiantuotantokustannusten että säästettyjen päästöoikeuksien muodossa.

Syntyvät ympäristöhyvitykset riippuvat korvattavista polttoaineista ja hyvitykset ovat sitä suuremmat, mitä enemmän korvataan fossiilisia energialähteitä. Vältetyt kivihiihen, öljyn ja maakaasun CO₂-ekv-päästöt synnyttävät noin 90 % kaikista vältetyistä ympäristökustannuksista.

Yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus on negatiivinen, -25 e/jätetonna, eli järjestelmämääräisestä syntyy yhteiskuntaan kustannusvähenemä, kun sekajätteen arinapolttolla (Sj 2) korvataan öljyä, puuta ja maakaasua. Kuljetuksissa ja käsittelyissä syntyvien alueellisten kustannuserojen sijaan merkittävimmän eron tekevät korvaavuusoletuksiin perustuvat vältetyt kustannukset ja ympäristöhyvitykset eli vältetyt ympäristökustannukset.

3.2.1.3

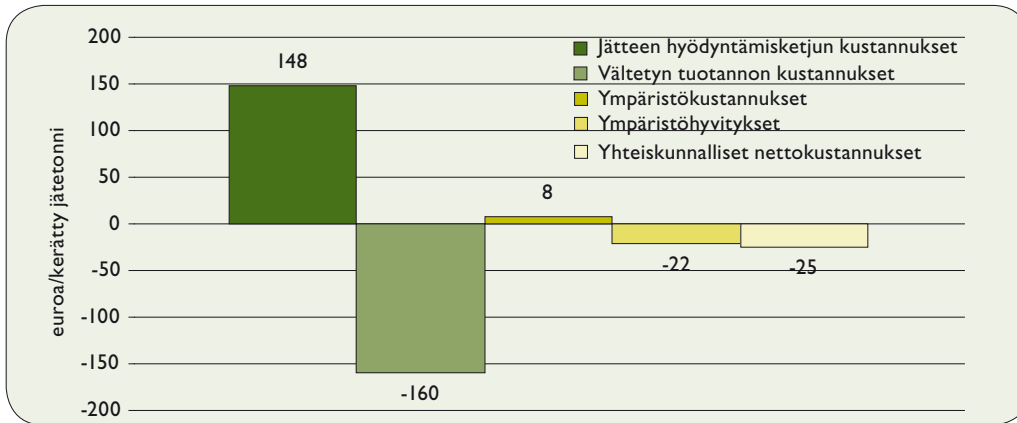
Korvattavana polttoaineena turve (Sj 3)

Jos mallinnetaan tilannetta, jossa teollisuuslaitoksen yhteyteen perustettu arinalaitos korvaa sähköä ja lämpöä tuottavan yhteistuotantolaitoksen (kombilaitoksen) energiaa (Liite 2, Kuva 3), saavutettavissa olevien hyötyjen kannalta ratkaisevaa ovat erot paitsi polttoaineissa myös laitosten rakennussuhteissa. Sähköä ja lämpöä tuottavassa turvevoimalassa, jonka rakennussuhde on 0,46, voidaan saada hyötykäyttöön noin 83 % polttoaineiden energiasta (Myllymaa ym. 2008). Kun suunnitellun arinakattilan rakennussuhteeksi on suunnitelmassa esitetty vastaavaa lukuarvoa, hyvitystilanteessa ei pääse syntymään sähkövajetta.

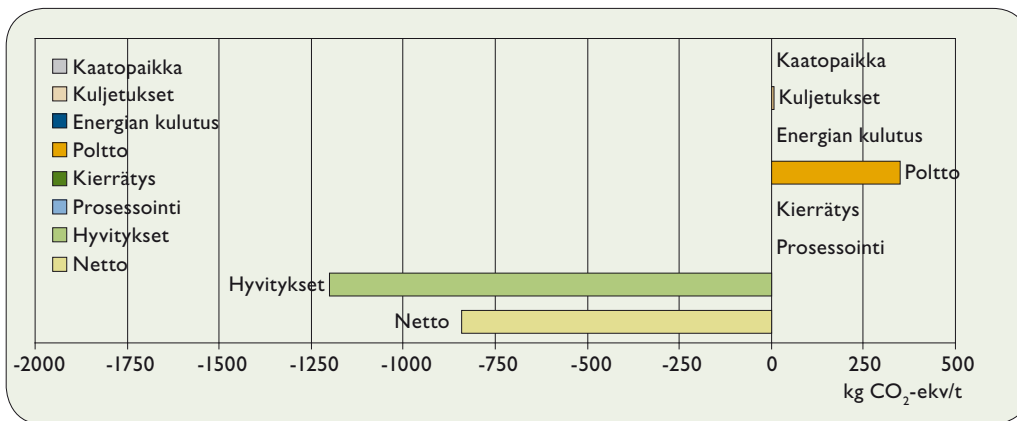
Massa- ja energiataseet vastaavat edellä kuvattuja: tuhannesta sekajätetonnista syntyy noin 190 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa tuhka-jätettä, noin 70 t ongelmajätteenä luokiteltavaa tuhka-jätettä ja noin 9000 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä (Liite 2, Kuva 3).

Ilmastonmuutos on merkittävin potentiaalinen vaikutus myös poltettaessa sekajätettä arinalaitoksessa ja oletettaessa tuotetun energian korvaavan turvetta (Kuva 9). Hiukkasvaikutus, happamoituminen ja kaatopaikan kuparipäästöjen aiheuttama ekotoksisuus vesistöissä ovat kuormituksen aiheuttamista vaikutuksista seuraavaksi merkittävimmät ja samansuuruiset kuin aiemmissa sekajätteen käsittelyvaihtoehdoissa. Vältetyt vaikutukset ovat kaikissa vaikutusluokissa merkittävästi öljyn, puun ja maakaasun korvaamista (Kuva 2, Kuva 6) suuremmat ja nettovaikutukset jäävät lähes kaikissa vaikutusluokissa hyötyjen eli säästöjen puolelle. Tämä johtuu turpeen polton suuremmista typen- ja rikinoksidien päästöistä muihin polttoaineisiin verrattuna.

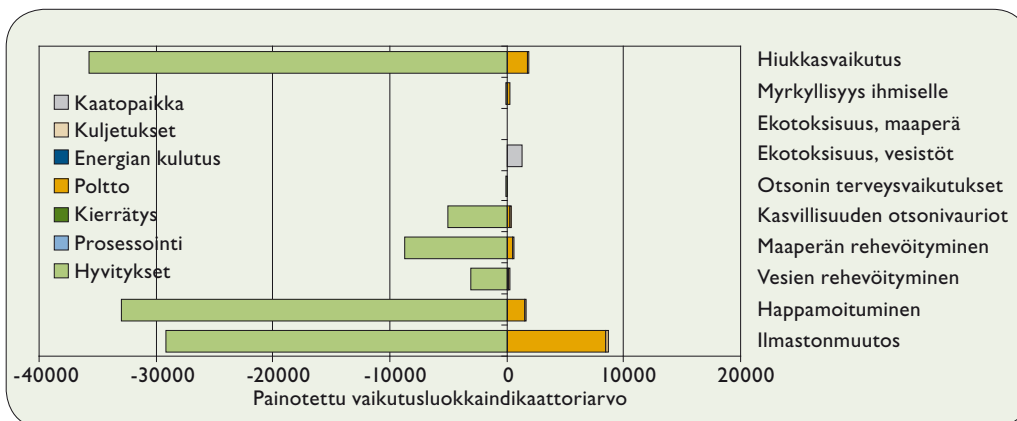
Näillä ratkaisuilla hyvityksiä syntyy noin 1 200 kg CO₂-ekv/sekajätetonna, ja nettohyödyksi saadaan noin 840 kg CO₂-ekv/sekajätetonna (Kuva 8).



Kuva 7. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 2) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyn, puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihlauhteella tuotettua sähköä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.



Kuva 8. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen arinapoltosta jätetonna kohti (Sj 3), kun tuotettu sähkö ja lämpö korvaavat turpeen polttoa (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.

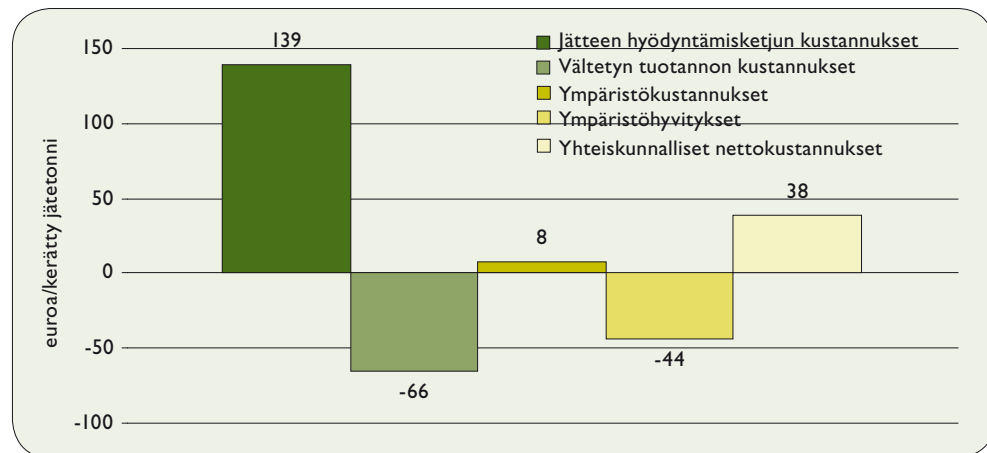


Kuva 9. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj 3) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu sähkö ja lämpö korvaavat turpeen polttoa. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.

Jätteen arinapoltto ja tuotetun energian käyttö korvaamaan turpeen polttoa tuottaa yhteiskunnan kannalta enemmän kustannuksia kuin säästöjä noin 38 e/jätetonna (Kuva 10). Perinteiset yksityistaloudelliset kustannukset on muodostettu käyttämällä samaa teknistä arinalaitostoteutusta kuin sekajätteen käsittelyvaihtoehdoissa Sj 1 ja Sj 2, ja polton yksikkökustannukset eroavat edellä tarkastelluista vaihtoehdoista jälleen ainoastaan poltettavan jätemäärän aiheuttaman kapasiteettiskaalauksen verran. Lisäksi eroa syntyy Pohjois-Pohjanmaalle sijoitetun polttolaitoksen alueelliseen tarkasteluun sidotuista kuljetuskilometreistä ja tuhkien loppusijoituksen kustannuksesta. Hyödyntämisketjun kustannukset ovat näin ollen noin seitsemän prosenttia alhaisemmat. Mikäli tarkastelu olisi tehty samalla alueella käyttäen samoja jätemääriä ja kuljetuskilometrejä, olisivat yksityistaloudelliset kustannukset yhtä suuret muiden edellä tarkasteltujen vaihtoehtojen (Sj 1 ja Sj 2) kanssa.

Vältettyjen kustannusten erä on turpeen polttoa korvattaessa alhaisempi kuin kivihiiltä, puuta ja maakaasua tai kivihiiltä, öljyä, puuta ja maakaasua korvattaessa. Tämä johtuu siitä, että turve on polttoaineena halvempaa ja energian yhteistuotanto turpeesta kokonaisuudessaan halvempaa kuin muut tarkasteltavat energiantuotannon yhdistelmät. Vältetyt päästökaupunkustannukset ovat kuitenkin suurimmat turpeen polttoa korvattaessa.

Ympäristökustannukset eivät eroa muista teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetuista arinalaitoksista, koska hyödyntämisketjun päästöt ovat riittävän samanlaiset. Ympäristöhyvitysten suuruuteen vaikuttavat turpeen polton suuremmat päästöt kaikissa päästöluokissa, ja kustannusvaikutus turpeen polttoa korvattaessa onkin kaksinkertainen verrattuna vaihtoehtoon, jossa hyvitetään öljyä, puuta, maakaasua ja kivihiiltä.



Kuva 10. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 3) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu sähkö ja lämpö korvaavat turpeen polttoa. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Arinapoltto taajama-alueella

Jos arinalaitos perustetaan taajamaan, lämmön tarve ratkaisee laitoksesta saatavan todellisen hyödyn, koska lämpö on hyödynnettävä melko paikallisesti. Vanhalla taajama-alueella kiinteistöjen lämmityskysymykset on jo usein ratkaistu liittämällä ne olemassa olevien voimaloiden kaukolämpöverkkoon, joten uuden voimalan lämmitysenergialle ei välttämättä ole enää tarvetta. Jos alueen lämpöverkko on jo valmiiksi täynnä energiajärjestelmien käyttöön liittyvät priorisoinnit vaikuttavat siihen, millaisia hyvityksiä järjestelmälle voidaan laskea - jos voidaan. Hyötykäyttöön saatavan energian osuus, eli energian todellinen saanto, saattaa jäädä hyvinkin pieneksi, jopa alle 40 %:n (Myllymaa ym. 2008), kun laitoksen lämpöenergiasta merkittävä osa joudutaan lauhduttamaan, eli siirtämään lämmönsiirtimen avulla joko ilmaan tai vesistöön.

3.2.2.1

Korvattavina polttoaineina Suomen keskimääräinen sähkön ja lämmön tuotanto (Sj 4)

Muuttovoittoisella taajama-alueella on oletettu tässä tutkimuksessa, että alueen energiankulutus kasvaisi tulevaisuudessa joka tapauksessa. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla kaukolämmön tarve kasvaa uuden rakennuskannan vuoksi 1,5 % vuodessa (Nuutila 2008). Kun hyvityksiksi valitaan Suomen keskimääräinen lämmön ja sähkön tuotanto (Liite 2, Kuva 4), oletetaan samalla, että kasvava energiantarve katetaan koko valtakunnan tason keskimääräisin ratkaisuin (Myllymaa ym. 2008). Oletus perustuu ensinnäkin siihen, että on mahdotonta arvioida, minkä tyyppisten energiajärjestelmien piiristä ihmiset ja yritykset muuttavat uuteen rakennuskantaan, ja muutoksen on oletettu tapahtuvan samassa suhteessa kuin Suomen keskimääräiset energiantuotantomuodot ovat. Lisäksi kasvavan taajaman muutosnopeus on niin maltillinen, että sitä ei saa heijastettua yksittäisiin laitosratkaisuihin. On mahdollista, että tässä ratkaisussa keskimääräisiin hyvitysarvoihin perustuvat oletukset yliarvioivat lämmöntuotannosta ja aliarvioivat sähköntuotannosta saatavia hyvityksiä.

Tuhannen sekajätetönin polttaminen tuottaa noin 190 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa tuhka-jätettä, noin 70 t ongelmajätteenä luokiteltavaa tuhka-jätettä, mutta aiempaa vähemmän eli noin 4 GJ energiaa. Tuotetun sähkön määrä on sama kuin aiemmissa vaihtoehdoissa, 2600 GJ/1000 t jätettä, mikä vastaa noin 65 %:a hyödynnetystä energiasta (Myllymaa ym. 2008) (Liite 2, Kuva 3).

Taajamaan sijoitettavalla arinalaitoksella hyötysuhde ja edelleen hyötykäyttöön saatavan energian osuus on suureksi oletetun lauhdutustarpeen takia niin huono, että kasvihuonekaasupäästöt ja hyvitykset käytännössä kumoavat toisensa (Kuva 11): järjestelmän nettovaikutukseksi saadaan noin 4 000 kg CO₂-ekv/jätetonne. Hyvityksistä kaksi kolmannesta tulee sähkön säästämisestä (Taulukko 7).

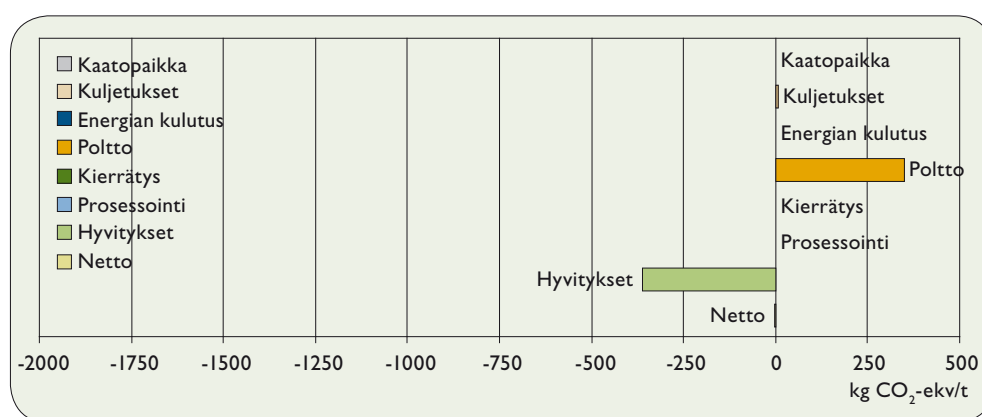
Ilmastonmuutos on tälläkin kertaa merkittävin vaikutusluokka. Hyödyntämättä jäävän lämpöenergian (lauhdutus) suuren osuuden vuoksi säästöt jäävät kaikissa vaikutusluokissa melko vähäisiksi (Kuva 12). Hiukkasvaikutus, happamoituminen ja ekotoksisuus vesistöissä erottuvat, mutta niiden merkitsevyys jää selvästi ilmastomuutosta vähäisemmäksi.

Taulukko 7. Sekajätteen (Sj 4) polton myötä syntyneiden hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t jätettä kohti, kun arinapoltolla tuotettu energia korvaa keskimääräistä sähkön ja lämmön tuotantoa.

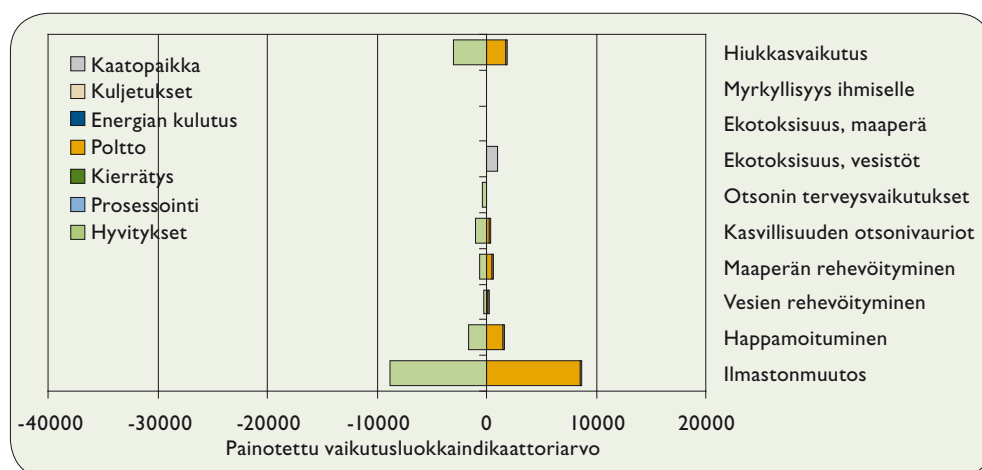
Vältettyjen päästöjen (hyvitysten) alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kaukolämpö (Suomi ka) ¹	-112 688	-35 %
Sähkö (Suomi ka) ²	-211 313	-65 %
	-324 001	

¹ Suomen keskimääräinen lämpöenergia on tuotettu lähes tasaosuuksin öljyllä, kivihiehellä, turpeella, maakaasulla ja puuperäisillä polttoaineilla (Myllymaa ym. 2008).

² Suomen keskimääräinen sähkö on tuotettu puoliksi fossiilisilla (46 %) ja puoliksi CO₂-päästöttömillä polttoaineilla, ydinvoimalla (42 %), puulla (7 %) ja vesivoimalla (6 %) (Myllymaa ym. 2008)



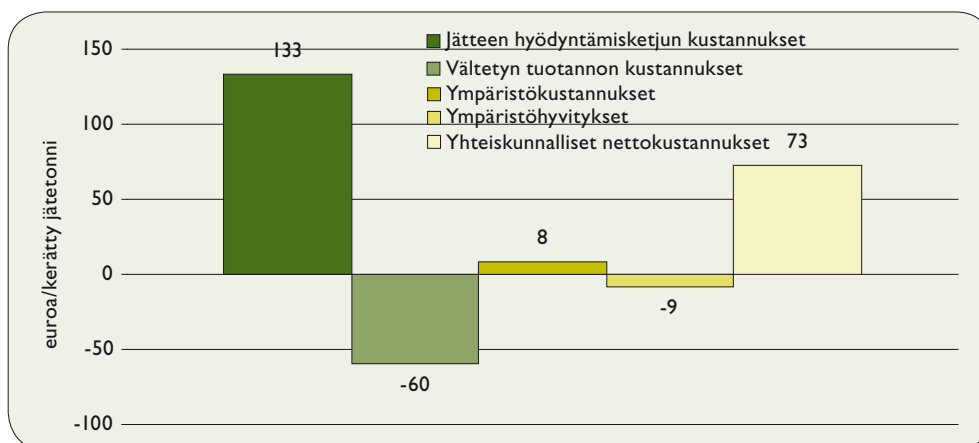
Kuva 11. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen arinapoltosta jätetonna kohti (Sj 4), kun tuotettu lämpöenergia korvaa Suomen keskimääräistä sähkön ja lämmön tuotantoa (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 12. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj 4) poltetaan arinapoltoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa Suomen keskimääräistä sähkön ja lämmön tuotantoa. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.

Arinapolttolaitoksen pääoma- ja käyttökustannukset on taajamaratkaisussa määritetty vastaavasti kuin teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa ratkaisussa, koska laitostekniikat ovat molemmissa mallinnetuissa järjestelmissä samanlaiset. Hyödyntämisketjun yksityistaloudellisen kustannuserän suuruus on teollisuusratkaisuun verrattuna kuitenkin selvästi alhaisempi, koska poltetulle jätteelle ei tarvita siirtokuljetusta polttolaitoksen sijoituksessa taajama-alueelle. Skaalaus- ja noutokustannusten erojen jälkeen sekajätteen hyödyntämisketjun kustannuksiksi muotoutuu 133 e/jätetonne (Kuva 13). Kuljetusetäisyyksien tai polttolaitoksen kapasiteettia määrittäessä käytetyn jätemäärän muuttaminen ei kuitenkaan ole ratkaisevassa asemassa yhteiskunnallisten kokonaiskustannusten kannalta.

Taajama-alueelle sijoitetun arinapolttolaitoksen yhteiskunnallisiin kokonaiskustannuksiin vaikuttaa ympäristövaikutusten tapaan eniten tuotetun lämpöenergian vähäinen hyödynnettävyys: koska jäteperäistä energiaa voidaan hyödyntää vähemmän ja samalla muuta energiantuotantoa korvata vähemmän, seurauksena ovat pienemmät korvattavat kokonaiskustannukset. Lisäksi päästöoikeuskaupan tuottamat kustannussäästöt jäävät muita vaihtoehtoja alhaisemmiksi, koska keskimääräisestä sähköntuotannosta vain 46 % perustuu fossiilisiin polttoaineisiin ja lämmöntuotannon käyttämän puun poltosta aiheutuvat CO₂-päästöt luetaan bioperäisiksi. Näillä oletuksilla keskimääräistä suomalaista lämmön ja sähköntuotantoa välttämällä saavutettavat kustannussäästöt ovat noin 60 euroa jätetonna kohti. Koska hyötykäyttöön saadun energian määrä on oletettu pienemmäksi kuin teollisuuden yhteyteen sijoitetun arinapolttolaitoksen tapauksessa, ovat sekä korvattavasta tuotannosta syntyvät kustannussäästöt että ympäristöhyvitysten rahamääräinen arvo teollisuusratkaisujen saavuttamia kustannussäästöjä pienemmät (Kuva 13). Kokonaisuudessaan kuvatun kaltaiseen järjestelmään siirtymisen yhteiskunnallinen kustannusvaikutus on negatiivinen, eli aiheuttaa kuluja noin 70 e/jätetonne.



Kuva 13. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvattun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 4) poltetaan arinalaitoksessa ja tuotettu lämpö korvaa Suomen keskimääräistä lämmöntuotantoa ja tuotettu sähköä Suomen keskimääräistä sähkön tuotantoa fossiilisista polttoaineista. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Kierrätyspolttoaineen (RDF) poltto leijukerroslaitoksessa, korvattavina polttoaineina öljy, puu ja kivihiili (Sj 5)

Mekaanisesti käsittelemällä sekajätteestä saadaan valmistettua laadultaan ja koostumukseltaan sekajätettä tasaisempaa kierrätyspolttoainetta, joka soveltuu poltettavaksi arinapolttolaitosta herkemmissä ja monimutkaisemmissa polttolaitoksissa. Saanto alkuperäisestä sekajätteestä on tosin vain noin 60 %, ja loppuosa on käsiteltävä ennen sijoittamista kaatopaikalle: metalli toimitetaan hyötykäyttöön, mutta muu osuus sijoitetaan kaatopaikalle, biohajoava jae kompostoinnin jälkeen (Myllymaa ym. 2008). Tuhannen sekajätetonnin polttamisen massa- ja energiataseet ovatkin seuraavanlaiset: lopputuotteena syntyy noin 230 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa kompostijätettä, 60 t RDF-poltton tuhka-jätettä ja noin 30 t hyötykäyttöön soveltumatonta prosessoinnin lopputuotetta, eli yhteensä noin 320 t tavanomaista kaatopaikkajätettä. Lisäksi ongelmajätteeksi luokiteltavaa tuhka-jätettä syntyy noin 65 t. Energiaa tuotetaan noin 6 000 GJ, josta sähkön osuus on noin 33 % (Liite 2, Kuva 5).

RDF:n polttoon tarkoitetuissa laitoksissa sähkö/lämpö-rakennussuhde, eli tuotetun sähkön määrä, voi olla suurempi kuin arinalaitoksissa, koska vähäisempien epäpuhtauksien vuoksi höyryn lämpötilat voidaan pitää korkeampina. Rakennussuhteeksi on oletettu erään RDF-laitoksen suunnitelmissa esitetty 0,45 (Myllymaa ym. 2008).

Tiivihihköltä kaupunkialueelta peräisin olevassa sekajätteessä on oletettu olevan biojätettä kohtuullisia määriä, jolloin sen energiasisällöksi on oletettu noin 14 GJ tonnia kohti. Mekaanisella prosessoinnilla erotetaan muovit, kuidut ja puu palavaan RDF-jakeeseen, käsittelyn bioaines kompostoidaan ja RDF-polttoaine poltetaan jätteen polttoon suunnitellussa, leijukerrostekniikkaan perustuvassa polttolaitoksessa (Liite 2, Kuva 5). Mekaanisen käsittelyn kompostoitu jäännös soveltuu vain kaatopaikalle, ja siitä syntyvä ja kerätty kaatopaikkakaasu poltetaan leijupetikattilassa, jossa se korvaa turvetta. Kaatopaikan kaasunmuodostuksen toimintaparametreina on käytetty EASEWASTE-mallin erään tanskalaisen esimerkkikaatopaikan oletuksia (EASEWASTE 2007, Manfredi ja Christensen 2008), jotka jälkikäteen todettiin melko optimistisiksi: oletuksena on, että tuotetusta metaanista saadaan talteen lähes 90 % ja keräämättömästäkin kaasusta hajoaa kaatopaikan pintakerroksessa yli 80 %.

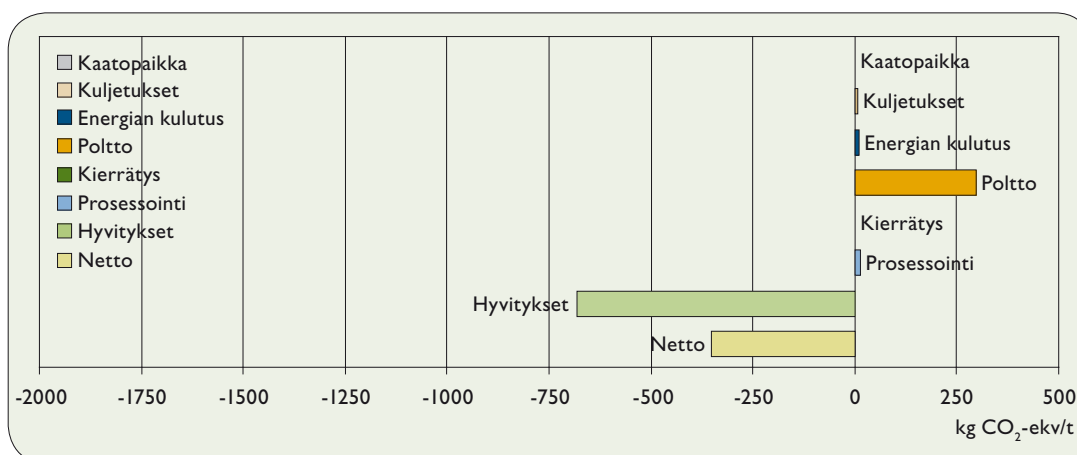
RDF-polttolaitoksen tuottaman energian oletetaan korvaavan alueen lämpökattiloiden yleisimpiä polttoaineita, jotka esimerkiksi Pohjois-Karjalassa ovat öljyä ja puuta. Sähkön oletetaan korvaavan kivihiililauhdetta.

Kasvihuonekaasupäästöinä mitattuna hyvityksiksi saadaan noin 680 kg CO₂-ekv / jätetonne, ja nettohyödyksi 350 kg CO₂-ekv / jätetonne. Jätteen CO₂-päästökerroin alkuperäistä sekajätetonna kohti on nyt alle 300 kg / jätetonne, koska RDF:n saanto alkuperäisestä jättemäärästä on vain noin 60 % (Myllymaa ym. 2008). Hyvityksistä kolme neljännestä selittyy kivihiililauhteen korvaamisesta syntyvillä säästöillä, ja loput öljyn polton välttämällä (Taulukko 8).

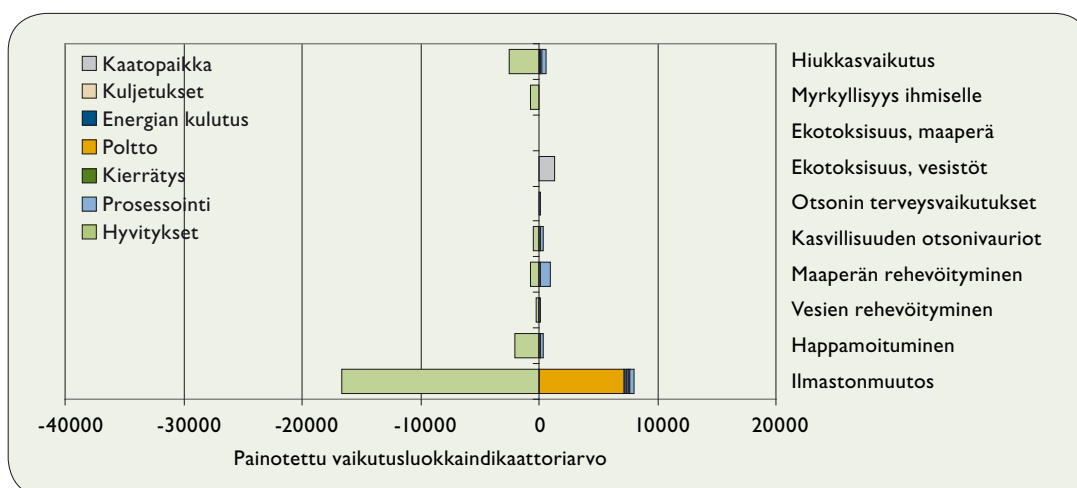
Sekajätteen biohajoavan osan kompostointi tuo ympäristövaikutuksiin selvän lisän, mutta ilmastonmuutos pysyy edelleen hallitsevana vaikutusluokkana. Kierrätyspolttoaineen savukaasut ovat jonkin verran sekajätteen polton kaasuja puhtaammat, mikä erottuu pienempinä rikin ja typen oksidien päästöinä. Tämä puolestaan pienentää hiukkasvaikutuksia ja happamoittavuutta (Kuva 15). Kompostointi aiheuttaa jonkin verran ammoniakkipäästöjä (Myllymaa ym. 2008), jotka erottuvat maaperän rehevöitymistä kuvaavassa vaikutusluokassa. Ekotoksisuusvaikutus johtuu tuhkan kupari- ja sinkkipitoisuudesta.

Taulukko 8. RDF:ksi prosessoidun sekajätteen polton myötä syntyneiden CO₂-hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t sekajätettä kohti, kun poltolla tuotettu energia korvaa öljyä, puuta ja kivihiiltä.

Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Turpeen poltto, kp-kaasu	-2 818	-0,4 %
Puun kasvatusta ja harvennustyö	-2 902	-0,4 %
Raskaan polttoöljyn tuotanto	-18 993	-3,0 %
Kivihiilen louhinta	-31 641	-5,0 %
Lämpö, öljy 64 %, puu 36 %	-99 607	-15 %
Sähkö, kivihiililauhde	-515 112	-77 %
	-671 123	



Kuva 14. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen mekaanisesta käsittelystä ja poltosta RDF-laitoksessa jätetonnia kohti (Sj 5), kun tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiililauhdetta (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 15. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj 5) käsitellään mekaanisesti, kierrätyspolttoaine poltetaan RDF-laitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiililauhdetta. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.

Kun sekajätteestä valmistetaan mekaanisesti RDF-polttoainetta, hyödyntämisketjun yksityistaloudelliset kustannukset muuttuvat arinapolttoon verrattuna. Jätteen noutotyön, muiden kuljetusten, polton ja tuhkien kaatopaikalle sijoittamisen lisäksi kustannuksia synnyttää sekajätteen mekaaninen esikäsittely, jonka osalta vertailulaitoksena on käytetty kuivajätettä prosessoivaa käsittelylaitosta (Myllymaa ym. 2008) (Kuva 16). Sekajätteestä mekaanisesti erotetun biohajoavan aineksen kompostointi ja loppusijoitus sisältyvät kaatopaikan kustannuserään, joka on siten pelkän sekajätteen arinapolton kaatopaikkakustannuksia suurempi. Jätteen noutotyön kustannukset (69 e/t) ovat arinapolttovaihtoehtoja suuremmat, koska esimerkkinä käytetyllä Pohjois-Karjalan alueella etäisyydet ovat aiemmin mallinnettuja pääkaupunkiseutua ja Pirkanmaata ja Pohjois-Pohjanmaata pidemmät.

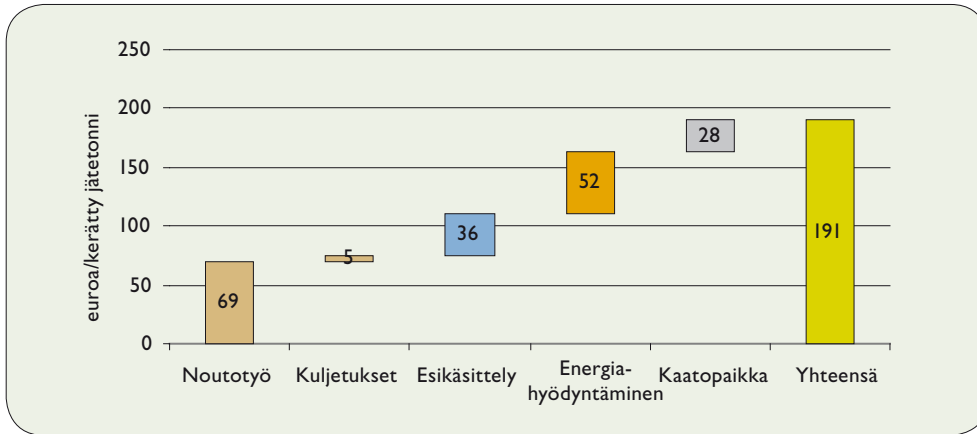
Sekajätteen hyödyntämisketju ja polttaminen RDF-laitoksessa maksavat yhteensä noin 190 e/jätetonni (Kuva 16). Polttoprosessin yksikkökustannukset laitokseen syötettävää ja poltettavaa jätetonna kohden ovat RDF:ää polttavassa laitoksessa suuremmat (87 e/RDF-tonni) kuin pelkistetämpään tekniikkaan perustuvassa arinalaitoksessa (58 - 73 e/poltettu jätetonni)(Myllymaa ym. 2008). RDF-laitoksen kustannuksia nostaa myös arinalaitosta pienempi polttokapasiteetti. Kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna sekajätteen polton kustannukset RDF-laitoksessa (52 e/t) ovat kuitenkin tarkasteltuja arinapolttovaihtoehtoja pienemmät (58 - 73 e/t). Tämä johtuu siitä, että polttoon päätyy vain osa kerätystä sekajättemäärästä, kun taas arinapolttoon päätyy koko kerätty jätemassa. Voidaan myös todeta, että pelkän arinapolton kustannukset ovat noin 60 e/käsitelty jätetonni (Kuva 3), kun taas RDF-polttolaitoksen ja esikäsitelyn yhteiset kustannukset ovat noin 90 e/käsitelty jätetonni (Kuva 16).

RDF-polttolaitoksen polttoainekustannukset muodostuvat tässä kohtaa, yhteiskunnallisesta näkökulmasta katsottuna, summana sekajätteen noudosta ja kuljetuksesta eli raaka-aineen hankinnasta ja mekaanisesta esikäsitteystä eli raaka-aineen prosessoinnista valmiiksi polttoaineeksi.

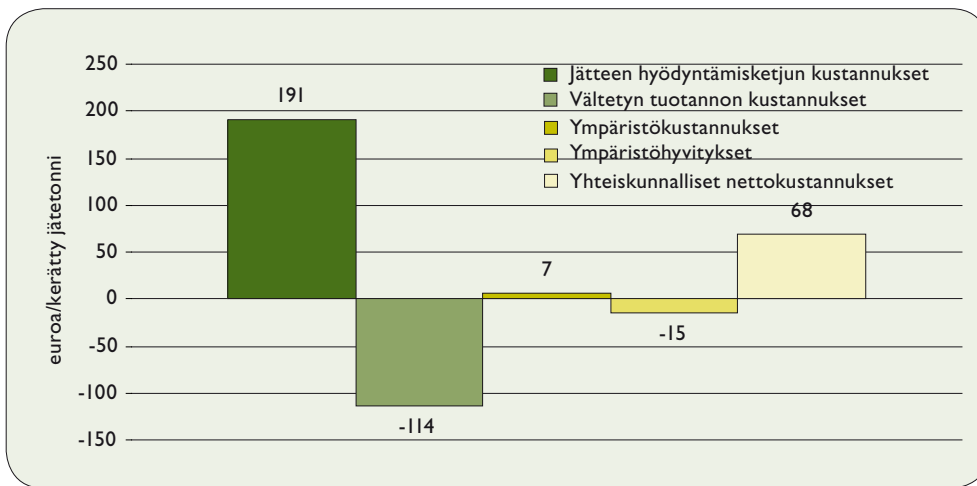
Jätteen hyödyntämisketjun kustannusten lisäksi ratkaisun yhteiskunnallisiin kokonaiskustannuksiin vaikuttavat korvautun tuotannon vältetyt taloudelliset kustannukset ja ympäristövaikutusten rahamääräiset arvot (Kuva 17). Kustannussäästöjä saadaan nyt siitä, että korvataan kivihieillä tuotettua sähköä ja öljyllä ja puulla tuotettua lämpöä. Päästökauppasäästöistä noin 80 % syntyy kivihieiden polton välttämistä ja loput öljyn polton välttämistä. Korvattu energiantuotanto on kuitenkin kustannuksiltaan alhaisempi (114 e/jätetonni) kuin sitä korvaava hyödyntämisketju kokonaisuudessaan (191 e/jätetonni).

Ympäristökustannukset on jälleen pienin kustannuserä, vain 7 e/jätetonni, ja sen muodostumiseen vaikuttaa 98-prosenttisesti ilmastonmuutosvaikutuksen synnyttämät kustannukset. Ympäristöhyvitysten rahamääräinen arvo puolestaan koostuu 90 %:n osuudella CO₂-päästöistä, SO₂- ja NO_x-päästöt vaikuttavat kumpikin noin viiden prosentin osuudella.

Kokonaisuudessaan sekajätteen mekaanisen esikäsitteilyn ja kierrätyspolttoaineen polton yhteiskunnallinen kustannusvaikutus on noin 68 e/jätetonni. Tämä tarkoittaa, että yhteiskunnalle koituu jätteenpolttoon siirtymisestä nettokustannuksia.



Kuva 16. Sekajätteen (Sj 5) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 17. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 5) käsitellään mekaanisesti, kierrätyspolttoaine poltetaan RDF-laitoksessa ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiihilauhdetta. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

3.2.4

Kierrätyspolttoaineen (RDF) 2 % seospoltto turvekattilassa, korvattavana polttoaineena turve (Sj 6)

Sekajätteestä mekaanisesti prosessoitu kierrätyspolttoaine voidaan saada energiasisällöltään ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan niin homogeeniseksi, että sen polttaminen pieninä osuuksina tavanomaisen polttoaineen polttoon suunnitellussa kattilassa voi onnistua ongelmitta.

Jos puuta ja/tai turvetta polttavaan kattilaan lisätään seospolttoaineeksi noin 2 % energiasisällöstä kierrätyspolttoainetta, on oletettu prosessin toimivan edelleen häiriöttä (Koskinen 2006), joskin käytännön kokemusta asiasta ei ole. RDF:n soveltuvuudesta polttamiseen leijukerroskattiloissa suhtaudutaan energian tuotannossa varovaisuudella, koska n. 10–20 % osuuksina RDF:n käytön on saatujen kokemusten mukaan ilmennyt ongelmia (Ekholm ym. 2005) – jotka tosin ovat olleet teknisesti ratkaistavissa mekaanisin lisälaittein. Kierrätyspolttoaineen haittakomponenttien määrä riippuu jätteen laadusta ja siitä, miten hyvin haitalliset elementit (esim. alu-

miini ja muut lämpöpintoja likaavat ja korrodoivat komponentit) kyetään poistamaan mekaanisen prosessoinnin aikana.

Seospoltetulla kierrätyspolttoaineella voidaan korvata kattilan tavallisia polttoaineita. Tiiviillä kaupunkialueella, jolla on paljon suurikokoisia leijupetikattiloita, kaikki alueen sekajäte voitaisiin prosessoida RDF:ksi ja polttaa primääripolttoainetta korvaten. Kuvailun kaltainen tilanne on esimerkiksi Pohjanmaalla, jossa leijupetikattiloita on eteläistä Suomea enemmän ja tärkein polttoaine on turve. Todennäköisintä on, että puun ja turpeen seoksesta vähennys kohdistetaan turpeelle, ja tätä oletusta on käytetty Pohjanmaan alueella oleville kattiloille.

RDF:n valmistuksen rejektit kompostoidaan ja sijoitetaan kaatopaikalle, jossa on tehokkaasti järjestetty kaatopaikkakaasun erilliskeräys ja josta kaasu toimitetaan edelleen polttoaineeksi (Liite 2, Kuva 6).

Koska kierrätyspolttoaineen saanto on noin 60 % alkuperäisestä jätevirrasta (Myllymaa ym. 2008), jäljelle jäävä 40 % on kompostoinnin ja metallien (ja lasin) erotuksen jälkeen sijoitettava kaatopaikalle (Liite 2, Kuva 6). Tuhannen sekajätetonnin polttamisen massa- ja energiataseet ovat: lopputuotteena syntyy tavanomaista kompostijätettä yhteensä noin 320 t, josta 230 t on kompostijätettä, 60 t RDF-polton tuhka-jätettä ja noin 30 t hyötykäyttöön soveltumatonta prosessoinnin lopputuotetta. Lisäksi ongelmajätteen luokiteltavaa tuhka-jätettä syntyy noin 65 t. Energiaa tuotetaan noin 10 000 GJ (Liite 2, Kuva 6).

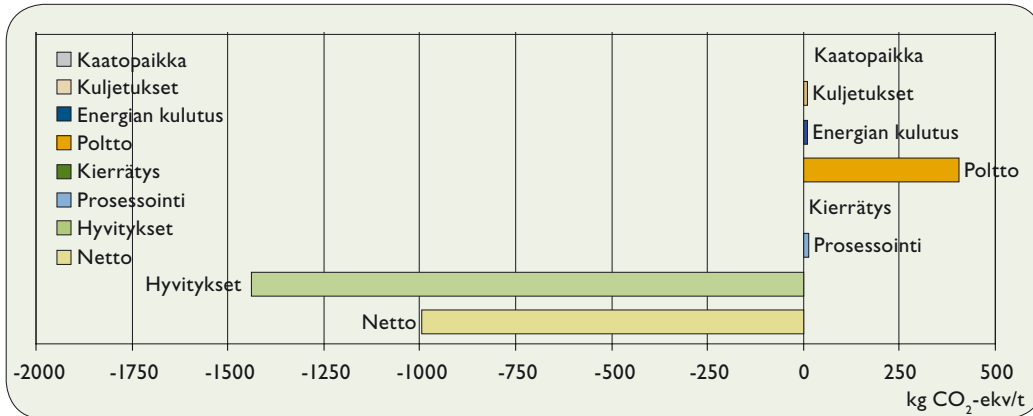
Seospoltolla ja turpeen korvaamisella saadut hyödyt ovat yli 1 400 kg CO₂-ekv/jätetonne (Kuva 18), johtuen turpeen korkeasta päästökertoimesta. Nettohyöty on noin 1 000 kg CO₂-ekv/jätetonne. Turpeen oton päästöjen osuus on vain noin seitsemäsosa hyvitysten kokonaismäärästä (Taulukko 9).

Kierrätyspolttoaineen seospolton ympäristövaikutukset muistuttavat kierrätyspolttoaineen leijukerros-polttoa (Kuva 19): kuormituksesta aiheutuvista vaikutuksista merkittävimmät ovat ilmastonmuutos, vesistöekotoksisuus ja maaperän rehevöityminen. Sen sijaan hyvitykset eroavat merkittävästi seospolton eduksi, koska hyödyt saadaan suoraan turpeen polton välttämisenä. Näin vältetään etenkin typen ja rikin oksideja ja hiilidioksideja, jolloin vältettyjä vaikutuksia ovat hiukkasvaikutus, ilmastonmuutos ja happamoituminen.

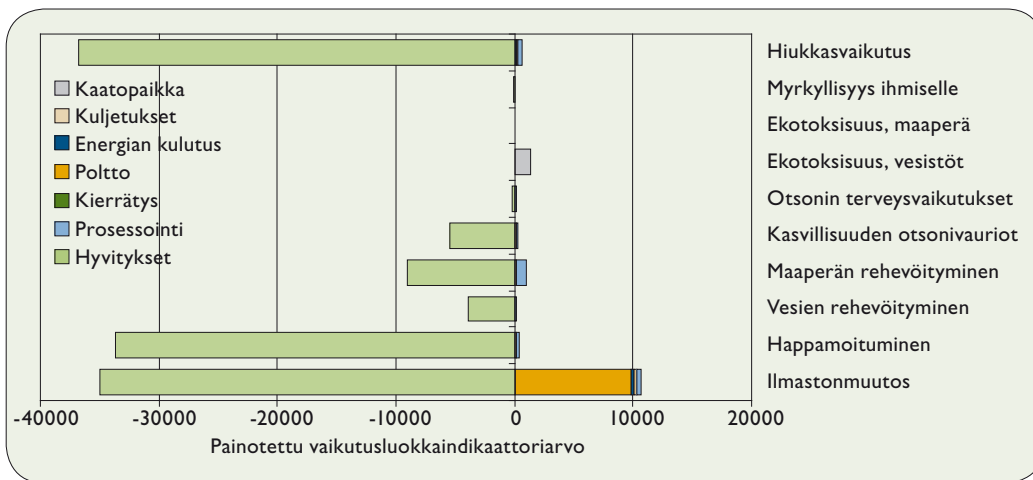
Sekajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen seospoltto olemassa olevissa kattiloissa ei edellytä varsinaisia laitosinvestointeja, vaan investoinnit savukaasunpuhdistuslaitteistoon ja hiukkaspitoisuuksien mittausteistoon riittävät (Koskinen 2006). Jätteen hyödyntämisketjun kustannuksiksi ilman muita yhteiskunnallisia kustannuseriä saadaan noin 140 e/jätetonne (Kuva 20). Energiahyödyntämisen kustannusosuus yksityistaloudellisista kustannuksista on noin 2 %, koska polton osalta ei ole tarpeen tarkastella muita pääoma tai -käyttökustannuksia kuin mitä vaadittujen järjestelmien asentaminen ja käyttö aiheuttaa (Kuva 20). RDF:n polttokustannus on polttoaineen hintaa ja mainittuja lisäinvestointeja sekä käyttökustannuksia lukuun ottamatta sama korvattavan turpeen polton kanssa, jolloin nettovaikutus on nolla. Muilta osin tarkasteltavan jätehuoltojärjestelmän kustannusrakenne vastaa luvun 3.2.3 tarkastelua kuitenkin siten, että alueelliset tekijät mm. jätteen noutotyön kustannuksissa synnyttävät pieniä jätetonnikohtaisia eroja (Kuva 20).

Taulukko 9. RDF:ksi prosessoidun sekajätteen polton myötä syntyneiden CO₂-hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t sekajätettä kohti, kun poltolla korvataan turvetta.

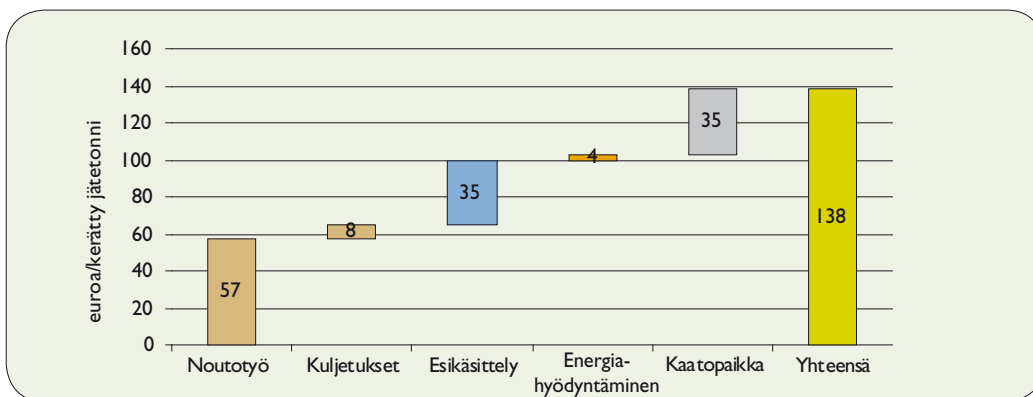
Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kaatopaikkakaasun poltto turpeen sijaan	-2 818	-0,20 %
Turpeen otto	-192 839	-14,00 %
RDF:n poltto turpeen sijaan	-1 181 840	-85,80 %
	-1 377 520	



Kuva 18. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätteen mekaanisesta käsittelystä kierrätyspolttoaineeksi (RDF) ja seospoltosta turvekattilassa jätetonna kohti (Sj 6), kun RDF:n poltto korvaa turvetta (Myllymaa ym. 2008). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 19. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun sekajäte (Sj 6) käsitellään mekaanisesti ja kierrätyspolttoaine poltetaan seospolttona turvekattilassa turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset (hyvitykset) negatiivisina.



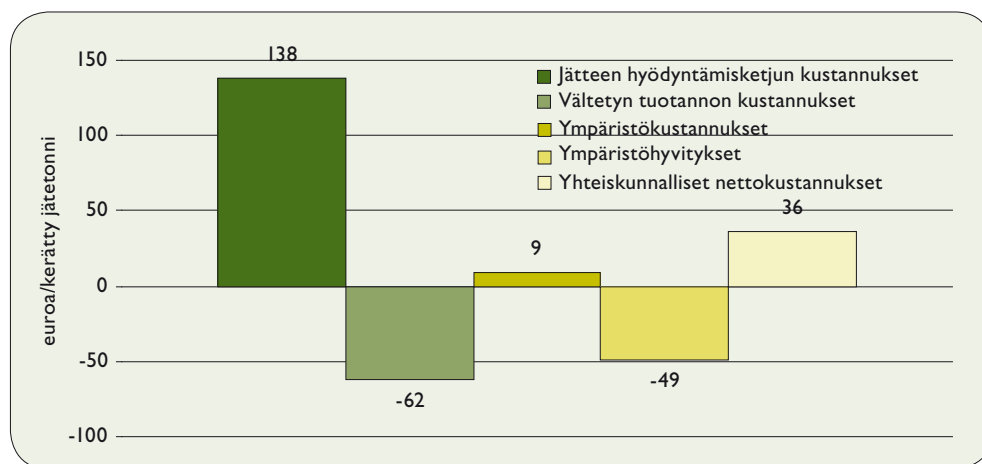
Kuva 20. Sekajätteen (Sj 6) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Kun huomioidaan sekajätteestä valmistetun RDF:n seospolton kaikki yhteiskuntaan heijastamat vaikutukset, seospoltoon siirtyminen aiheuttaa yhteiskunnassa kustannuksia noin 36 e/jätetonni (Kuva 21). Tällöin jätteen hyödyntämisketjun kustannuksista on vähennetty vältetyn energiantuotannon kustannukset, päästöjen aiheuttamat ympäristöhyvytykset ja lisätty uuden järjestelmän aiheuttamien päästöjen kustannukset.

Korvattavan energiantuotannon vältetyt kustannukset koostuvat vältetyistä päästöoikeuksista ja korvattavan energialähteen hankinnan vältetyistä kustannuksista. Kun korvattava polttoaine ja jäteperäinen polttoaine poltetaan samassa kattilassa, ei ole tarpeen huomioida kattilan kustannuksia, koska polttoaineen hintaa lukuun ottamatta kustannukset on arvioitu samoiksi tuotettua energiayksikköä kohden. Vältetyt kustannukset koostuvat siten turpeen hankinnan vältetyistä kustannuksista ja turpeen polton vältetyistä päästöoikeuksista.

Päästöoikeussäästöjä laskettaessa on huomioitava, että jätteen seospoltto lukeutuu päästöoikeuskaupan alaisuuteen ja jätteen synnyttämille CO₂-päästöille on hankittava päästöoikeuksia fossiilisten CO₂-päästöjen osuudelta. Seospolton tuottamat päästökauppahyvytykset ovat siten samaa jättemäärää poltettaessa alhaisemmat kuin arinapolton tai RDF-polttolaitoksen tapauksessa, koska pelkästään jätteenpoltoa varten rakennetun polttolaitoksen ei tarvitse maksaa päästämistään kasvihuonekaasupäästöistä (Päästökauppalaki 683/2004, 2 §).

Ympäristökustannukset RDF:n seospoltoista aiheutuvat 90-prosenttisesti energiahyödyntämisen synnyttämistä CO₂-päästöistä. Turpeen poltolla vältettyjen ympäristökustannusten eli hyvitysten suuruuteen vaikuttavat CO₂-päästöt 60 %:n osuudella, SO₂-päästöt 25 %:n osuudella ja NO_x-päästöt 15 %:n osuudella.



Kuva 21. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 6) käsitellään mekaanisesti ja kierrätyspolttoaine poltetaan seospoltona turvekattilassa turpeen sijaan. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Loppusijoitus kaatopaikalle tehostetun biojätteen erilliskeräyksen jälkeen (Sj 7)

Aina sekajäte ei ehkä ole hyödynnettävissä. Tätä tilannetta mallinnettiin vaihtoehdolla, jossa sekajätteen biohajoavaa osuutta pienennettiin tehostamalla biojätteen erilliskeräystä ja toimittamalla loppu sekajäte kaatopaikalle. Realistinen biojätteen saanto maaseutumaisella asutusalueella arvioitiin hyvin maltilliseksi ja tehostamisen arvioitiin erottavan sekajätteestä noin 7 % biojätettä käsiteltäväksi laitosmaisesti mädättämällä.

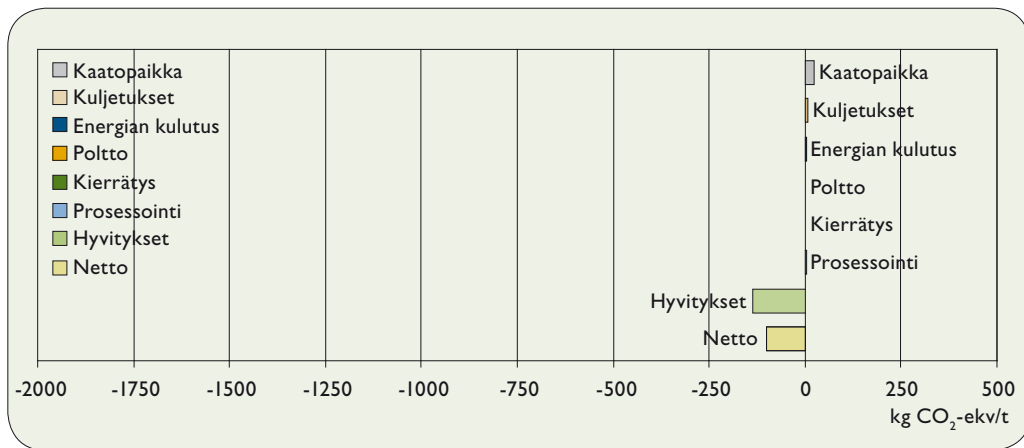
Jäljelle jäävä sekajäte toimitetaan EU:n kaatopaikkainormit täyttävälle kaatopaikalle. Kaatopaikan kaasut otetaan talteen ja poltetaan turvekattilassa, samoin kuin mädätyksessä syntynyt biokaasu. Kaatopaikan toimintaparametreina on käytetty samoja EASEWASTE-mallin oletuksia kuin edellä: metaanin talteenottoaste lähes 90 %, keräämättömän kaasun hajoaminen kaatopaikan pintakerroksessa n. 80 % (EASEWASTE 2007). Mädätyksen kiinteä lopputuote kuivataan termisesti ja jalostetaan metsälannoitteeksi, kun jätevesi puolestaan toimitetaan pellolle lannoitteeksi (Liite 2, Kuva 7).

Tuhannen sekajätetonnin massa- ja energiataseet ovat vaihtoehdossa Sj 7 seuraavat: 935 t sijoitetaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle ja loput päätyvät biojätteen erilliskeräyksen kautta mädätykseen. Energiaa tuotetaan noin 64 GJ, johon ei ole sisällytetty järjestelmän energian kulutusta (Liite 2, Kuva 7).

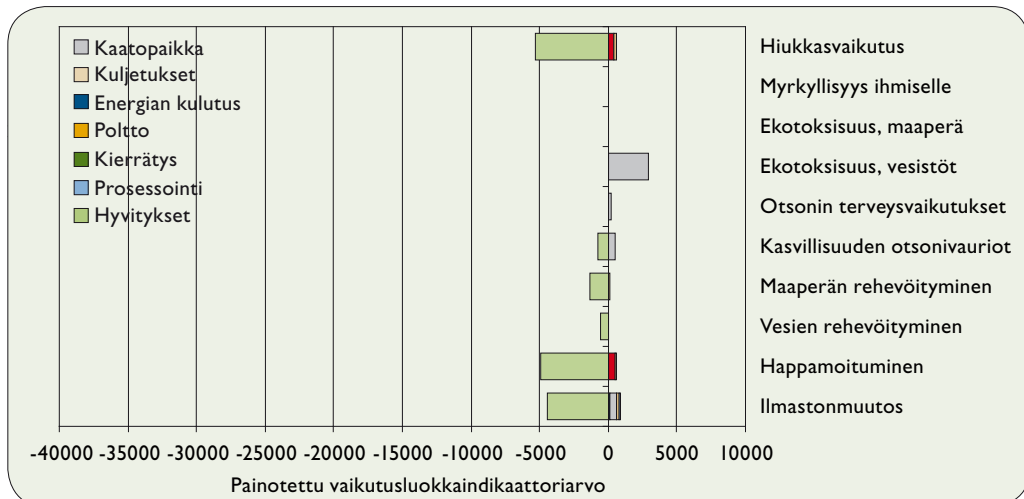
Näin menettelemällä saadaan hyvytyksiä noin 180 kg CO₂-ekv/tonni sekajätettä, ja nettohyödyksi 150 kg CO₂-ekv/tonni sekajätettä (Kuva 22). Laskelmat perustuvat oletukseen, että biohajoavan osuuden vähenemisen takia sekajäte tuottaa kaatopaikalla metaania 20 % normaalia sekajätettä vähemmän, 0,8 kg CH₄/sekajätetonne. Joidenkin arvioiden mukaan päästö olisi monikymmenkertainen (vrt. luku 3.7.7), jolloin kaatopaikkasijoitus tuottaisi päästöjä huomattavasti hyötyjä enemmän, noin 500 kg CO₂-ekv/t. Kaikki CO₂-säästöt syntyvät käytännössä turpeen polton välttämisestä.

Kaatopaikalle sijoitetun sekajätteen ympäristövaikutuksista merkittävin on jätteen sisältämän kuparin aiheuttama vesistöjen ekotoksisuusvaikutus. Kun sekajätteen tuottaman metaanin määräksi oletetaan mm. kuvassa 22 käytetty noin 1 kg CH₄/jätetonne, jää ilmastonmuutosvaikutus ekotoksisuutta vähäisemmäksi. Monissa muissa lähteissä kaatopaikalle sijoitetun jätteen tuottaman metaanin määrä on arvioitu jopa yli 10-kertaiseksi, mikä nostaisi ilmastonmuutoksen vaikutusluokan ekotoksisuutta-kin tärkeämmäksi. Voidaan todeta, että optimiolosuhteissa ja hyvällä kaasun keräilyllä kaatopaikan päästöt voivat jäädä kohtuullisiksi, mutta jos kaatopaikkakaasun keräilyä ei ole järjestetty tehokkaasti, ilmastonmuutosvaikutus nousee merkittävämmäksi ympäristövaikutukseksi.

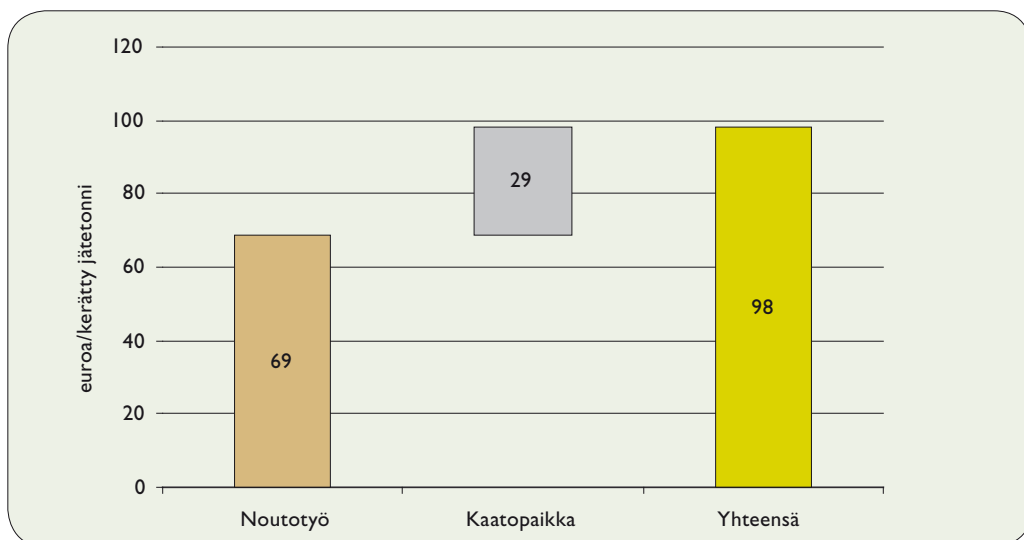
Kaatopaikalle sijoitetun sekajätteen käsittelykustannukset muodostuvat jätteen noutotyöstä, kuljetuksesta kaatopaikalle sekä kaatopaikkasijoituksesta (Kuva 24). Kaatopaikkasijoituksen ja noutotyön yhteenlasketut kustannukset ovat noin 100 e/jätetonne.



Kuva 22. CO₂-ekv-päästöt (kg) sekajätetonna kohti, kun tehostetaan biojätteen erilliskeräystä ja loppu sekajäte sijoitetaan EU-normit täyttävälle kaatopaikalle (Myllymaa ym. 2008) (Sj 7). Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 23. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun tehostetaan biojätteen erilliskeräystä ja loppu sekajäte (Sj 7) sijoitetaan EU-normit täyttävälle kaatopaikalle. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 24. Sekajätteen (Sj 7 hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

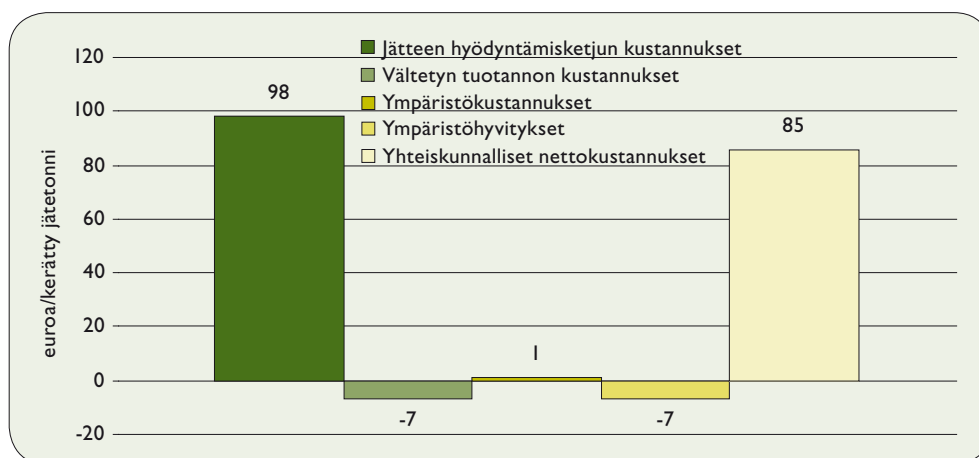
Tehostetun biojätteen erilliskeräyksen kustannuksia ei ole lähtötietojen puutteen vuoksi sisällytetty hyödyntämisketjun kustannuksiin. Lisäksi erikseen lajitellun jätelajin osuus on hyvin vähäinen, vain noin 6 % kokonaisjätemäärästä. Tehostamiseen pyritään monesti mainoskampanjoin, mutta kustannus-saanto-vastaavuuksia ei Suomessa ole tutkittu; kustannusten voi kuitenkin olettaa kasvavan kiinteästi suhteessa saantoon.

Kustannusten laskennassa esimerkkialueena on käytetty Pohjois-Karjalaa. Noutotyön kustannukset on oletettu verrattain suuriksi haja-asutuspainotteiselle maakunnalle, kun taas loppusijoituksen kustannukset puolestaan ovat suuremman asutuskeskuksen kaatopaikan kustannuksia hieman alhaisemmat. Nämä eri suuntiin vaikuttavat muuttujat käytännössä kumoavat toisensa ja lukua voidaan pitää edustavana, sillä vastaavan kustannuslaskelman muodostaminen esimerkiksi pääkaupunkiseudulle tuottaisi vain noin kaksi euroa eli alle 3 % alhaisemmat kokonaiskustannukset, kun jätteen noutotyö on halvempaa ja kaatopaikan käyttökustannukset puolestaan suuremmat.

Kaatopaikan tuottaman biokaasun talteenotto ja sen hyödyntäminen energiantuotannossa turpeen sijaan tuottaa kustannussäästöjä, kun vältetään turpeen hankintaa polttoaineeksi. Biokaasu luetaan päästökauppavapaaksi polttoaineeksi, jolloin vältetyn turpeen polton osalta saadaan täysimääräiset päästökauppasäästöt, jotka muodostavat noin 40 % kaikista vältetyistä kustannuksista.

Ympäristökustannusten osuus kokonaiskustannuksista on alle yhden prosentin ja pääosin kustannukset syntyvät kaatopaikalta vapautuvista metaani- ja hiilidioksidipäästöistä. Ympäristöhyvityksiä syntyy turpeen polton vältetyistä CO₂-, SO₂- ja NO_x-päästöistä.

Sekajätteen kaatopaikkasijoittamisen kustannussäästöt jäävät verrattain alhaisiksi lähinnä korvattavasta energiantuotantojärjestelmästä koituvien, varsin vähäisten kustannussäästöjen vuoksi. Loppusijoituksesta aiheutuukin muita sekajätteen käsittelyn tarkasteltuja vaihtoehtoja suuremmat yhteiskunnalliset nettokustannukset, noin 85 e/jätetonni, siitä huolimatta, että jätteen käsittelyn kustannukset ovat muita käsittelyketjuja alhaisemmat. Yhteiskunnan kannalta kaatopaikkasijoitus on siten sekajätteen vaihtoehtoista kallein, ja erilliskeräyksen tehostamisen aiheuttamien kustannusten lisääminen tarkasteluun lisäisi eroa entisestään muiden vaihtoehtojen hyväksi. Tehostetusti erilliskerätyn biojätteen mädätyksen kustannuksia tarkastellaan luvussa 3.4.2.



Kuva 25. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun sekajäte (Sj 7) sijoitetaan EU-normit täyttävälle kaatopaikalle ja kerätty biokaasu hyödynnetään energiantuotannossa turpeen sijaan. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Sekajätteen käsittelyketjujen yhteenveto ja vertailu

Tutkimuksessa vertailtiin neljää vaihtoehtoista tapaa käsitellä sekajäte - arinapolttolla, työstämällä se RDF-laitoksen polttoaineeksi, työstämällä se poltettavaksi pieninä osuuksina tavanomaisissa kattiloissa ja sijoittamalla jäte kaatopaikalle tehostetun biojätteen erotuksen jälkeen. Lisäksi varioitiin edellä mainittujen tekniikoiden avulla saatavia hyvitysratkaisuja, jolloin tarkasteltavaksi jäi yhteensä seitsemän vaihtoehtoa (Liite 2, kuvat 1 – 7). Sekajätteelle ei mallinnettu vaihtoehtoa, jossa siitä mekaanisesti valmistettaisiin laatuluokaltaan REF I tai REF II -luokan kierrätyspolttoainetta rinnakkaispoltettavaksi, koska käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että polttoaineen laatu jää tavoitetta huonommaksi (Ekholm ym. 2005).

Sekajätteen käsittelyketjujen tarkastelut on sidottu alueellisesti mitoitettuihin laitoskapasiteetteihin ja kuljetusetäisyyksiin. Jätelajikohtaisten tarkastelujen yleistämiseen on siten syytä suhtautua varovaisesti, koska kullekin alueelle ominainen infrastruktuuri ja tuotantorakenne ovat määrittäneet käsittelyn ja hyvitysratkaisujen kapasiteetin. Alueelliset erityispiirteet on hyvä pitää mielessä etenkin kustannustarkasteluiden tuloksia vertailtaessa. Alueellisilla erityistekijöillä ja oletuksilla ei kuitenkaan todettu olevan niin merkittävää vaikutusta, ettei ympäristö- ja kustannustarkastelun tuloksista voitaisi esittää vertailua eri käsittely- ja hyödyntämisvaihtoehtojen välillä.

Jätteestä tuotetun energian määrä vaihteli välillä 64 – 10 000 GJ/1000 t sekajätettä, syntyvän tavanomaisen kaatopaikkajätteen määrä välillä 190 – 320 t ja ongelmajätteen määrä välillä 65 – 70 t: Kaatopaikalle sijoitettavaa jätettä syntyy arinapoltoissa 60 % siitä määrästä, mitä kierrätyspolttoaineita poltettaessa. Samalla energiaa tuotetaan arinapolton teollisuusratkaisussa 90 % verrattuna seospolttoon olemassa olevissa kattiloissa ja 150 % verrattuna polttoon RDF-laitoksessa. Arinapolton taajamaratkaisussa energiantuotanto on 40 – 65 % kierrätyspolttoaineilla toimiviin ratkaisuihin verrattuna.

3.2.6.1

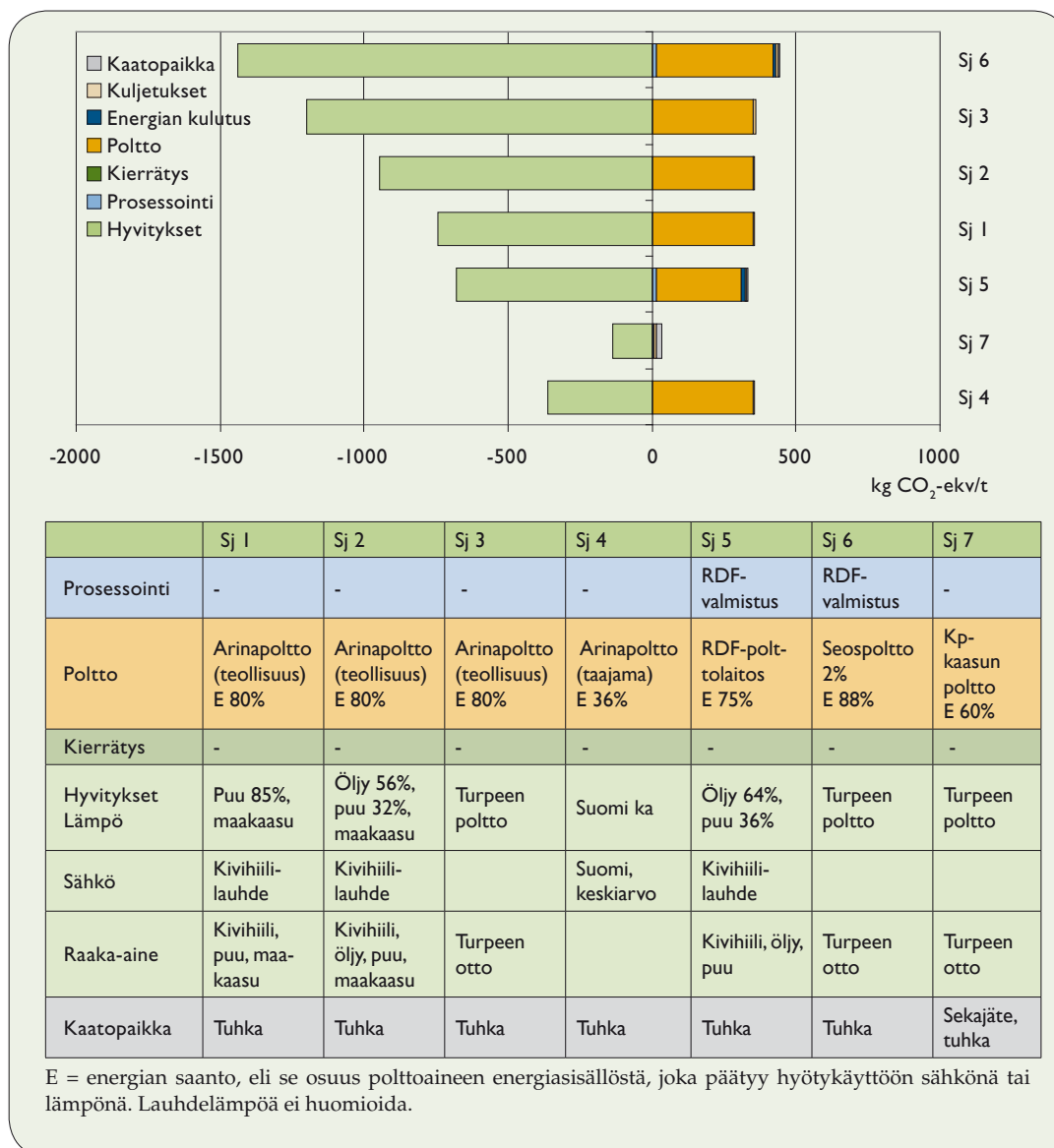
Hyödyntämisvaihtoehdoissa syntyvät CO₂-ekv-päästöt

Sekajätteen käsittelyn yksi merkittävimmistä todennäköisistä ympäristövaikutuksista on kaikissa hyödyntämisvaihtoehdoissa kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmaston lämpeneminen. Sekajätteen polttaminen tuottaa CO₂-ekv-päästöjä noin 350 kg/sekajätetonne (Kuva 26). Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen mukaan sekajätteen samoin kuin sekajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen (RDF) CO₂-päästökerto on 31,8 kg/GJ (Tilastokeskus 2005). Sekajätteen polton CO₂-päästön määrä on näin ollen jätetonna kohti laskettuna polttomenetelmästä riippumaton, jos 100 % sekajätteestä on poltettu ja energiasisällöt ovat samansuuruiset. Tämän vuoksi energiahyödyntämisen CO₂-päästöt ovat yhtä suuret vaihtoehdoissa Sj 1, Sj 2, Sj 3 ja Sj 4 (Kuva 26). Kun sekajätteestä valmistetaan RDF-kierrätyspolttoainetta (vaihtoehdot Sj 5 ja Sj 6), päästökerto alkuperäistä sekajätetonna kohti ilmoitettuna riippuu kierrätyspolttoaineen saannosta, energiasisällöstä ja rejektien käsittelystä. Sekajätteestä mekaanisesti valmistetun RDF-polttoaineen saanto on noin 60 % (Myllymaa ym. 2008) ja energiasisältö on suurempi kuin sekajätteellä, joten tonnikohtainen päästökin on suurempi.

RDF on poltettu vaihtoehdoissa kahdella eri polttotekniikalla: vaihtoehdossa Sj 6 seospolttona 2 % osuudella olemassa olevissa kattiloissa (energian saanto 88 % polttoaineen energiasisällöstä) ja vaihtoehdossa Sj 5 tarkoitukseen rakennetussa jätteenpolttolaitoksessa (energian saanto 75 %). Näillä eroilla ei kuitenkaan ole merkitystä jäteperäisiin päästöihin, vaan ainoastaan tuotetun energian määrään ja sen hyödyntämisestä saataviin hyvityksiin.

Vaihtoehtojen Sj 5 ja Sj 6 polttoperäisten päästöjen erot selittyvät eroilla RDF-polttoaineen energiasisällössä: vaihtoehdossa Sj 6 sekajäte on kerätty pääosin kaupunkialueelta ja sen biojätepitoisuus on todennäköisesti pienempi (energiasisältöoletus noin 19 GJ/t) kuin vaihtoehdossa Sj 5, joka edustaa maaseutumaista asumista (energiasisältöoletus noin 14 GJ/t).

Kierrätyspolttoaineen valmistus vaatii energiaa noin 110 MJ/t (Myllymaa ym. 2008). Keskimääräisen suomalaisen sähköntuotannon päästökertoimilla (Myllymaa ym. 2008) laskettuna tästä energiankulutuksesta syntyvien päästöjen määrä on noin 9 kg CO₂/sekajätetonnei, eikä energian kulutus -elinkaarivaihe sen vuoksi juurikaan poikkea toisistaan kierrätyspolttoaineen ja sekajätteen vaihtoehdoissa.



Kuva 26. Sekajätteen hyödyntämistä vaihtoehtojen CO₂-ekv-päästöt (kg) ilmoitettuna sekajätetonna kohti. Ylimpänä suurimmat nettohyödyt eli hyvitykset ja alimpana vähäisimmät nettohyödyt saanut vaihtoehto.

Sekajätteen kaatopaikkasijoitusta kuvaava vaihtoehto (Sj 7) poikkeaa kuormituksen olennaisesti muista vaihtoehdoista. Sekajätteestä on tehostetun erilliskeräyksen avulla erotettu noin 7 % biojätettä käsiteltäväksi mädättämällä, ja loppu sekajäte on viety EU:n normit täyttävälle kaatopaikalle, jossa kaasut otetaan talteen ja poltetaan turvekattilassa mädätyksen biokaasun kanssa. Kaatopaikalle sijoitetun sekajätteen energiahyödyntämisen aiheuttama kuormitus on olennaisesti muita vaihtoehtoja pienempi siksi, että sekä mädätyksessä syntyvä kaasu että kaatopaikkakaasu ovat bioperäisiä ja näin ollen niiden CO₂-päästökerroin on nolla. Biogeenisiä päästöjä syntyy noin 220 kg CO_{2, BIO}/sekajäte-tonni. Laskelmassa ei ole huomioitu sitä, että kaatopaikalle varastoitu ei-bioperäinen jäte saattaisi jossakin vaiheessa tulevaisuudessa päätyä polttoaineeksi. Suurin vaikutus vaihtoehdon Sj 7 tuloksiin on sillä, mitä päästökerrointa käytetään kaatopaikalta ilmakehään karkaavalle metaanille. Tuloksissa käytetty kerroin on 1 kg CH₄/jätetonne (Kuva 26).

3.2.6.2

Hyödyntämismuutosten vältetyt päästöt

Jätteen hyödyntämisen muissa järjestelmissä aiheuttamia muutoksia on arvioitu vältettyinä päästöinä eli hyvityksinä. Sekajätteen käsittelyvaihtoehdoissa Sj 1, Sj 2, Sj 3 ja Sj 4 tarkastellaan tekniikaltaan samanlaista polttolaitosta, mutta vaikutukset laitoksen vaikutusalueen energiajärjestelmissä ovat erilaiset. Todennäköisimmät vaikutukset on arvioitu oletetun alueen ja sijoitusympäristön ominaisuuksien perusteella.

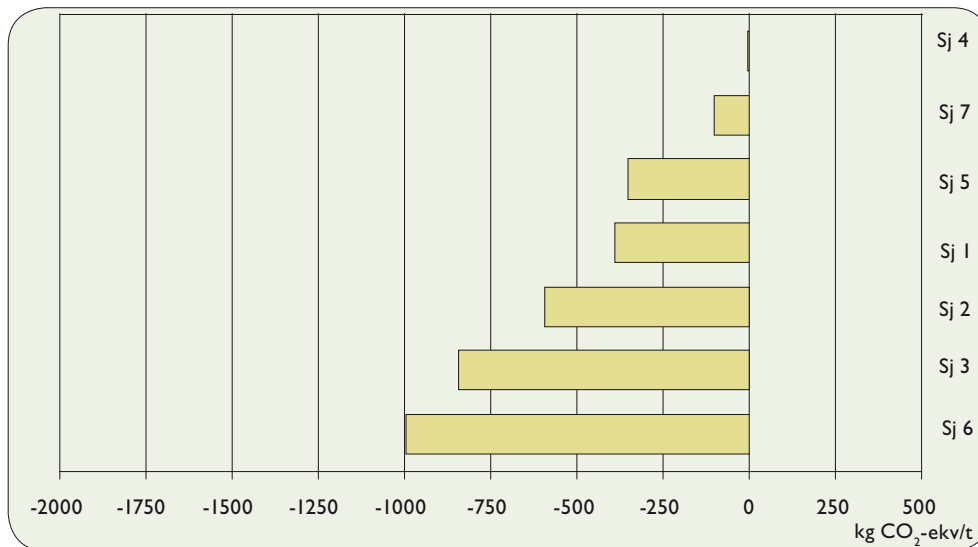
Arinatekniikalla saatavan energiahyödyn ja hyvitysten suuruus riippuu mm. siitä, onko lähistöllä höyryä tarvitsevaa teollisuutta tai lämpöä tasaisesti kuluttavaa asutus- aluetta (Sj 1, Sj 2 ja Sj 3, kuvat 1,3 ja 5) vai joudutaanko lämpöä ajamaan lauhdelämpönä mereen (Sj 4, kuva 7). Teollisuushöyryn käytön seurauksena energian saanto voi olla yli 80 %, kun taas taajamaan sijoitetussa ratkaisussa lämmön hyödyntämssuhde voi jäädä jopa vain puoleen tästä. Useissa Keski-Euroopan maissa lämmön hyödyntäminen saattaa olla olemattomalla tasolla, koska näissä maissa ei ole kehittynttä kaukolämpöjärjestelmää.

Energian saantoakin suurempi merkitys on sillä, mitä polttoaineita jätteestä tuotulla energialla oletetaan korvattavan: suurimmat lämpöenergian säästöt seuraavat, jos vältetään polttamasta turvetta (kun turpeen polton päästöt oletetaan fossiiliseksi (Tilastokeskus 2005)). Turpeen polton päästöt ovat n. 175 kg CO₂/GJ tuotettua energiaa, kun se vastaavasti öljylle on 86 kg CO₂/GJ ja maakaasulle 67 kg CO₂/GJ tuotettua kokonaisenergiaa (sähkö ja lämpö) kohti (Myllymaa ym. 2008).

Sähkön tuottaminen kivihiihilauhteella tuottaa hiilidioksidia jopa 254 kg CO₂/GJ (Myllymaa ym. 2008), joten sähkön osuus hyvityksistä on sekajätteen poltossa yli 70 % (Sj 1, Sj 2 ja Sj 5), vaikka sähköksi tuotettaisiin alle neljännes polttoaineiden energiasisällöstä.

Suurimmat CO₂-päästöjen säästöt sekajätteiden käsittelyssä saadaan polttamalla se mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella, mahdollisimman hyvällä energian saannolla ja korvaten polttoainetta, jolla on mahdollisimman suuri päästökerroin (Kuva 27). Tämä toteutuu parhaiten polttamalla sekajätteestä valmistettua kierrätyspolttoainetta turvekattilassa seospolttona turvetta korvaten (Sj 6). Lähes samansuuruisiin hyötyihin päästään hyvällä energian saannolla toimivassa arinalaitoksessa, kun tuotettu energia korvaa turvetta (Sj 3).

Heikoimmat hyödyt saadaan, jos arinapolttolaitoksen lämmölle ei löydy käyttöä (Sj 4), jolloin energian saanto jää järjestelmän kannalta hyvin mitättömäksi. Kaatopaikalle sijoittamisen (Sj 7) hyödyt kumoavat juuri ja juuri haitat, jos metaanin päästökerroin oletetaan pieneksi (1 kg CH₄/jätetonne), mutta jos käytetään IPCC:n ja Alakankaan (2000) käyttämää kerrointa, 12 kg CH₄/jätetonne, haitat nousevat nykyisten (Kuva 27) negatiivisten, eli vältettyjen päästöjen verran positiiviselle eli kuormittavalle puolelle.



Kuva27. Sekajätteen eri käsittelyketjujen CO₂-ekv-nettopäästöt (kg) ilmoitettuna sekajätetonna kohti.

3.2.6.3

Muut ympäristövaikutukset

Ilmastonmuutosvaikutuksen ohella sekajätteen käsittelyn potentiaalisia ympäristövaikutuksia ovat hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöihin kohdistuva ekotoksisuus. Typen ja rikin oksidien päästöihin liittyvä hiukkasvaikutus voi aiheuttaa terveyshaittoja ja laskea eliniänodotetta. Ympäristön happamoituminenkin liittyy typen ja rikin oksidien laskeumaan ja voi puolestaan aiheuttaa metallien liukenevista maaperästä, heikentää kasvien kasvua ja muuttaa alkuperäistä kasvillisuutta happamuutta paremmin sietäviin lajeihin. Vesistöjen ekotoksisuutta voivat aiheuttaa sekajätteen kaatopaikalle sijoitetun tuhkan kupari- ja sinkkipäästöt.

Jätteiden polton yhteydessä esitetään monesti huoli dioksiini- ja furaanipäästöistä. Dioksiinit ja furaanit ovat pysyviä orgaanisia yhdisteitä (ns. POP-yhdisteitä, POP = Persistent Organic Pollutant), jotka ovat erittäin hitaasti hajoavia, kaukokulkeutuvia, eliöihin kertyviä ja voivat aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina merkittäviä haittoja ihmisten terveydelle ja luonnoneliöille. Altistuminen yhdisteille tapahtuu ruoan, erityisesti kalan välityksellä.

Jätteen polton tuottamat dioksiinipäästöt ovat niin vähäisiä, etteivät ne erotu tuloksissa valtakunnan tason arvoihin suhteutettuina eli normalisoituina eivätkä asiantuntija-arvioiden mukaan painotettuina (ks. luku 3.1.2).

Hallitsematon ja epätäydellinen palaminen ovat suurimpia dioksiinilähteitä. Tämän vuoksi jätteiden laitostaminen ei ole merkittävä dioksiinien tuottaja, kun taas kaatopaikkapaloissa voi syntyä enemmän dioksiinia kuin kaikissa muissa dioksiinia tuottavissa toiminnoissa yhteensä (Taulukko 10). Palamisessa syntyvät dioksiinimäärät ja niiden piippupäästöt riippuvat kuitenkin paljon polttoprosessin tasaisuudesta ja palamisprosessin täydellisyydestä. Lisäksi jätteen lämpöarvon vaihtelu voi aiheuttaa tulipesän lämpötilan laskiessa hiilimonoksidipiikin, jolla on dioksiinipäästöihin moninkertaistava vaikutus (Nottrodt ym. 1990). Savukaasujen puhdistusjärjestelmän täytyy lisäksi olla tehokas ja jatkuvasti toiminnassa - häiriöpäästöt voivat olla laskennallisia päästöjä suurempia. Jätteenpolttodirektiivissä onkin kohta, joka vaatii laitoksen välitöntä pysäyttämistä, jos prosessissa on häiriöitä.

Ruotsin arvioissa dioksiinipäästöistä ilmaan vuonna 2004 kokonaismäärä oli noin 27 - 96 g/TEQ, josta 0 - 70 % syntyi kaatopaikkapaloissa, 10 - 20 % syntyi metalliteollisuudessa, 15 - 50 % biopolttoaineiden poltosta ja puun pienpoltosta, 5 - 15 %

fossiilisten polttoaineiden poltosta ja 1 - 4 % jätteiden poltosta (Naturvårdsverket 2005). Tuotteisiin sitoutuneet määrät sen sijaan kertovat, että jätteen polton tuhkaan sitoutuvat määrät ovat merkittäviä.

Suomessa on arvioitu, että puun pienpoltto aiheuttaa arviolta 40 % hengitettävien hiukkasten (kokoluokka alle 10 mikrometriä) päästöistä, lähes puolet pienhiukkasten (kokoluokka alle 2,5 mikrometriä) päästöistä ja yli 40 % dioksiinipäästöistä (Ympäristöministeriö 2002).

Taulukko 10. Ruotsissa vuonna 2004 syntyneet dioksiinipäästöt ja niiden lähteet (Naturvårdsverket 2005) Soluissa olevat viivat tarkoittavat, että tieto ei ole ollut saatavilla.

Dioksiinilähde	Päästöt ilmaan	Päästöt veteen	Tuotteet ja jätteet
	g/TEQ/vuosi (2004)	g/TEQ/vuosi (2004)	g/TEQ/vuosi (2004)
Metalliteollisuus	5,6 – 10,3	-	< 2
Sementtiteollisuus	0,2 – 0,3	-	-
Paperi- ja massateollisuus	1,2	< 0,1	< 5
Kloori-alkaliteollisuus	-	0,001 - 0,02	0,008 – 0,26
Fossiilisten polttoaineiden poltto	< 4	-	-
Pienimuotoinen puun poltto ja Biopolttoaineiden poltto	< 14	-	< 11
		-	
Jätteiden laitosmainen poltto	1,1	-	n. 160
Kaatopaikkapalot	0,4 - 65	-	-

3.2.6.4

Kustannukset

Kustannustarkastelussa sekajätteen järjestelmäratkaisuissa korostuvat perinteisten markkinoilla ilmenevien yksityistaloudellisten kustannuserien vaikutukset. Jätteen noutotyö kotitalouksilta kattaa kussakin tarkastellussa polttovaihtoehdossa (Sj 1-6) noin 40 % kaikista jätteenkäsittelyn kustannuksista. Kun lisäksi huomioidaan käsittelyketjujen muut kuljetukset esim. polton tuhkien kuljetukset, nousee kaikkien kuljetusten osuus kustannuksista keskimäärin noin puoleen. Kaatopaikkasijoitusta tarkasteltavan järjestelmässä (Sj 7) noutotyön osuus on peräti 70 % kaatopaikan toimintojen alhaisempien pääoma- ja käsittelykustannusten vuoksi.

Loput kustannukset tarkastelluissa polttoratkaisuissa (Sj 1-6) koostuvat polton yksikkökustannuksista, jätteen mahdollisesta esikäsittelystä poltto varten (Sj 5 ja 6) ja jätteenpoltosta syntyvien tuhkien ja esikäsittelyn rejektin loppusijoituksesta. Polton yksikkökustannusten laskemisessa on käytetty vaihtoehdoissa Sj 1, Sj 2, Sj 3 ja Sj 4 saman vertailulaitoksen lähtötietoja ja näin ollen vaihtoehdoissa esiintyvät polton kustannukset eroavat toisistaan vain alueellisten jätemäärien synnyttämien skaalavaikutusten verran (Myllymaa ym. 2008). Kun sekajätteestä valmistetaan RDF-polttoainetta kustannukset eroavat arinapolttotarkasteluista (Sj 1-4) jätteen esikäsittelyn eli RDF:n valmistuksen ja polton suurempien yksikkökustannusten verran. Koska RDF-polttoaineen saanto on sekajätteestä noin 60 %, tonnikohtainen kustannus poltosta kerättyä jätetonna kohden on kuitenkin alhaisempi. Huomionarvoista on, että sekajätteen prosessointi RDF:ksi (Sj 5 ja 6) synnyttää noin 20 %:n kustannuslisän pelkkään arinapoltoon verrattuna ja RDF-polttolaitoksen (Sj 5) yksikkökustannus on keskimäärin noin 20 % korkeampi kuin pelkistetämpään teknologiaan perustuvan arinapolton yksikkökustannus (Kuva 28).

Kuljetus-, laitos- ja käsittelykustannusten lisäksi yhteiskunnassa syntyvään nettokustannukseen vaikuttaa järjestelmässä korvattavaksi oletetun energian tuotanto. Vältetyn energiantuotannon kustannukset ovat luonnollisesti sitä suuremmat, mitä suurempi energian saanto järjestelmässä on, ja korvattavan energiantuotannon tuo-

tantokustannusten sijaan juuri hyödynnettävän energian määrällä on ensisijainen vaikutus vältettyjen kustannusten määrään. Energian tuotantokustannusten vaikutus näkyy tarkastelussa etenkin silloin, kun korvataan ns. marginaalista energiantuotantoa, esim. erillistä lämmöntuotantoa öljystä, tai halvempaa, yhteistuotantolaitoksen turpeesta tuottamaa energiaa. Suurimmat säästöt saadaan näin ollen silloin, kun teollisuuden yhteyteen sijoitettu arinalaitos (Sj 2) (energian saanto 81 %) korvaa sähköntuotannossa kivihiiltä ja lämmöntuotannossa öljyn, puun ja maakaasun yhdistelmää (Kuva 28). Öljyn osuudeksi erillisestä lämmöntuotannosta on oletettu noin 65% (Liite 2, Kuva 2). Astetta pienemmät hyvitykset saadaan, kun korvattava lämmöntuotanto ei perustukaan öljyyn, vaan pelkästään puun ja maakaasun yhdistelmään (Sj 1). Lähes yhtä suuret hyvitykset syntyvät myös silloin, kun RDF-polttolaitoksen tuottama energia (hyötysuhde 75 %) korvaa kivihiilen, öljyn ja puun yhdistelmää energialähteinä. Turvetta energialähteenä käyttävän yhteistuotantolaitoksen korvaaminen arinapolttolla (Sj 3) tuottaa puolestaan noin 50 % alhaisemman hyvityksen kuin edellä mainittu vaihtoehto (Sj 1), koska sähkön ja lämmön yhteistuotanto on tuotantokustannuksiltaan halvempaa ja turve polttoaineena esim. öljyä ja maakaasua noin 65 % halvempaa (Myllymaa ym. 2008). Heikoimmat hyvitykset tarkastelluista arinapolttovaihtoehdoista syntyvät, kun taajamassa sijaitseva arinalaitoksen (Sj 4) oletetaan korvaavan Suomen keskimääräistä sähkön ja lämmöntuotantoa. Kustannussäästöjen pienuus ei taajamaratkaisussa perustu niinkään oletukseen korvattavasta energiantuotannosta ja sen kustannuksiin, vaan jätteestä tuotettavan lämmön osittaiseen lauhdutustarpeeseen: kun energian saanto jää pieneksi, ovat vältettävänkin tuotannon kokonaiskustannukset pienemmät.

Vältettyjen kustannusten suuruutta tarkasteltaessa on hyvä pitää mielessä, että vaihtoehdot Sj 6 ja Sj 7 eivät ole tältä osin täysin verrannollisia muiden järjestelmien tuottamiin kustannussäästöihin. Näissä kahdessa järjestelmävaihtoehdossa jäteperäinen polttoaine (RDF ja biokaasu) on oletettu poltettavaksi samassa kattilassa korvattavan polttoaineen kanssa, samalla energian saannolla. Näin ollen sekä jätteen että korvattavan polttoaineen osalta on voitu jättää huomioimatta energiantuotannon laitoskustannukset, jotka joka tapauksessa supistuisivat pois tarkastelusta. Vältettyjen kustannusten erä sisältää vaihtoehdoissa Sj 6 ja 7 päästökauppakustannusten lisäksi siis vain tarkasteltavan energiamäärän tuottamiseksi tarvittavan polttoaineen hinnan huomioiden sen energiasisällön ja laitostehokkuuden. Jätteen seospolttoa 2 %:n osuuksina mallinnettaessa (Sj 6) ei otettu huomioon sitä, että Jätteenpolttoasetuksen mukaan savukaasujen pitää olla 2 sekunnin viipymäaika 850 °C:n minimilämpötilassa. Korkea lämpötila saattaa johtaa esim. siihen, että osakuormalla ajaminen ei ole mahdollista ja tämä taas siihen, että lämmöntarpeen kausivaihtelun vuoksi syntynyttä lämpöenergiaa menee tavallista enemmän hukkaan. Vaihtoehdon energian saanto saattaa siten olla jonkin verran oletettua pienempi ja saadut kustannushyödyt vähäisemmät.

Fossiilisiin polttoaineisiin perustuvassa energiantuotannossa syntyy kustannuksellista CO₂-ekv. päästöille hankittavista päästöoikeuksista. Jätteen arinapoltto (Sj 1-4) tai jätteenpolttoa varten varta vasten rakennettu polttolaitos (Sj 5) puolestaan ovat lainsäädännöllisesti päästökaupan ulkopuolella, jolloin fossiilisten energialähteiden korvaaminen jätteellä tuottaa järjestelmään lisäsäästöjä ns. täysimääräisesti. Jätettä muun päätoimisen polttoaineen rinnalla polttava polttolaitos (Sj 6) on velvollinen hankkimaan päästöoikeuksia jätteen fossiiliselta osuudelta. Jätteen bioperäiseksi luokiteltu osuus hyvittää kuitenkin korvattavan tuotannon päästökauppakustannuksia. Suurimmat päästökauppasäästöt kerättyä jätetonnin kohden saadaan turvetta korvaavista järjestelmistä (Sj 3, Sj 6), koska turpeella on suurin CO₂-päästökerroin. Myös kaatopaikkavaihtoehdossa (Sj 7) korvattava polttoaine on turve, mutta päästökauppasäästöjen määrä on jätetonnin kohden alhaisempi, koska kaatopaikan energiantuotantokyky samasta jättemäärästä on huomattavasti alhaisempi kuin kattilalaitoksen.

Sekajätteen polttovaihtoehtojen (Sj 1-6) synnyttämät ympäristönettokustannukset perustuvat järjestelmissä noin 50 - 90 %:n osuudella ilmastonmuutosvaikutuksen synnyttämiin kustannuksiin. Turpeen polttoa korvattaessa myös SO₂- ja NO_x-päästöjen kustannusvaikutukset näkyvät suhteellisen suurilla, noin 20 - 30 %:n ja 10 - 20 %:n osuuksilla. Muiden arvoitettujen päästöjen (Taulukko 4) vaikutus on pieni, useimmiten alle prosentin luokkaa. Dioksiinien synnyttämien terveysvaikutusten kustannus ei näy tarkastelussa laisinkaan huolimatta päästötyypille käytetystä korkeasta arvoitamisluvusta (Taulukko 4). Kokonaistulokseen ympäristövaikutusten synnyttämällä kustannuksilla ja kustannussäästöillä on vain vähäinen vaikutus. Jos tarkastelusta poistettaisiin kokonaan ympäristövaikutusten rahallinen osuus (ts. ympäristökustannukset ja vältetyt ympäristökustannukset), vaikutus olisi suurin järjestelmissä, joissa korvataan turvetta energialähteenä (Sj 3 ja 6) ja vain näiden kahden vaihtoehdon keskinäinen järjestys muuttuisi (Kuva 29).

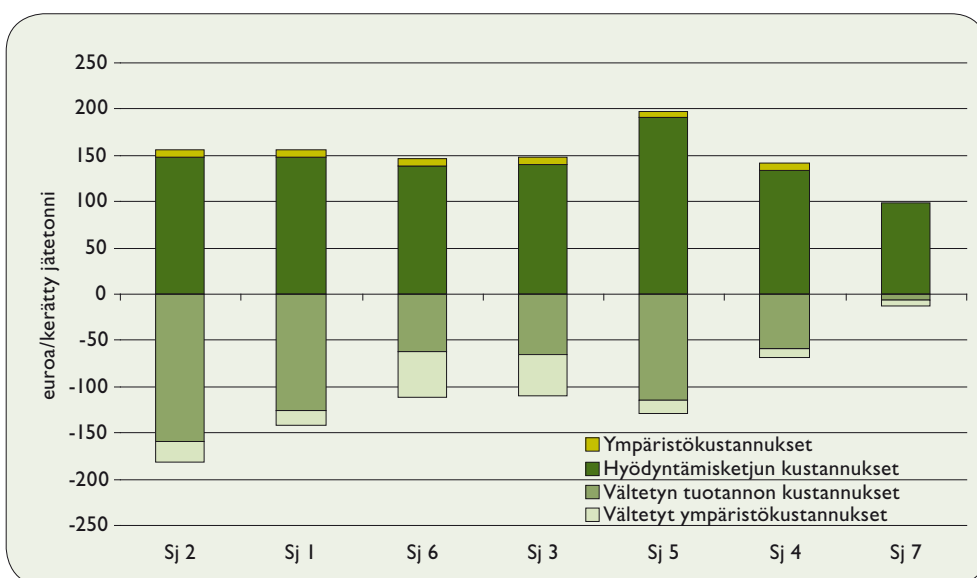
Tarkastelluista polttoratkaisuista ainoa yhteiskunnassa nettohyötyjä tuottava järjestelmä on arinapolttovaihtoehto (Sj 2), jossa arinalaitoksen tuottaman energian hyödyntää läheinen teollisuus ja korvattaviksi polttoaineiksi on oletettu kivihiili, öljy, puu ja maakaasu (Kuva 29). Koska arinalaitosten osalta hyödyntämisketjun kustannukset eivät suuremmin eroa toisistaan, syntyy ero merkittävimmin vältetyn energiantuotannon kustannuksista: vaihtoehto Sj 2 on kannattavin, koska öljyn osuus erillisestä lämmöntuotannosta on merkittävä. Taloudellisesta näkökulmasta toiseksi kannattavinta on polttaa jäte niin ikään teollisuusalueen läheisyydessä (Sj 1), jolloin korvattavaan polttoainevalikoimaan ei kuulu öljy, vaan erillinen lämmöntuotanto perustuu 85 %:n osuudella puuhun. Ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta otollisin vaihtoehto, RDF-polttovaihtoehto seospolttovaihtoehto pienillä osuuksilla olemassa olevissa kattiloissa (Sj 6) (Kuva 27), on nettokustannuksiltaan kolmanneksi paras vaihtoehto, perustuen pääosin turpeen edullisuuteen korvattavana polttoaineena. Lähes yhtä kannattavaa, vain 5 %:n erolla, on polttaa jäte arinalaitoksessa (Sj 3), joka korvaa teollisuuden käyttämää turpeeseen perustuvaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Varsin suuret hyvitykset saadaan poltettaessa RDF-polttovaihtoehtoa kiertoleijukattilassa (Sj 5), mutta koska myös jätteen prosessointi RDF:ksi synnyttää noin 20 %:n lisäkustannukset ja itse polttolaitoskin on arinalaitoksia noin 20 % kalliimpi, on ratkaisu kaiken kaikkiaan vasta viidenneksi kannattavin. Arinapolttoratkaisuista kannattamattomin on jätteenpolttovaihtoehto taajamassa (Sj 4), koska tässä tutkimuksessa tehdyn oletuksen mukaan taajamassa laitoksen lämpökuorman hyödynnettävyys on heikompi.

Jätteen käsittelystä ja hyödyntämisestä syntyvät kustannukset polttoratkaisuissa Sj 1-6, lukuun ottamatta järjestelmää Sj 2, ovat niin suuret, että vältetyn energiantuotannon kustannukset eivät riitä kompensoimaan jätehuollon kokonaisuudessaan synnyttämiä kustannuksia. Tässä yhteydessä onkin tärkeää muistaa, että jätehuollon ensisijaisen tehtävä yhteiskunnassa ei ole energiantuotanto. Yksittäisen energiantuotantolaitoksen osalta jätteen energiahyödyntäminen voi olla kannattavaa, koska jätteen polttoainehinta tuotantolaitokselle on toinen kuin jätteen hinta yhteiskunnalle. Taloudellisen tarkastelun näkökulma ko. tutkimushankkeessa ei kuitenkaan ole jätteenpolttolaitosten liiketaloudellisessa kannattavuudessa, vaan kokonaistaloudessa ja järjestelmämuutosten aiheuttamissa yhteiskunnallisissa nettokustannuksissa. Tulokset vastaavat siis kysymykseen, mikä vaihtoehtoisista hyödyntämismenetelmistä on kannattavin ja millä polttoainekorvaavuuksilla, kun lainsäädäntö estää biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoittamisen.

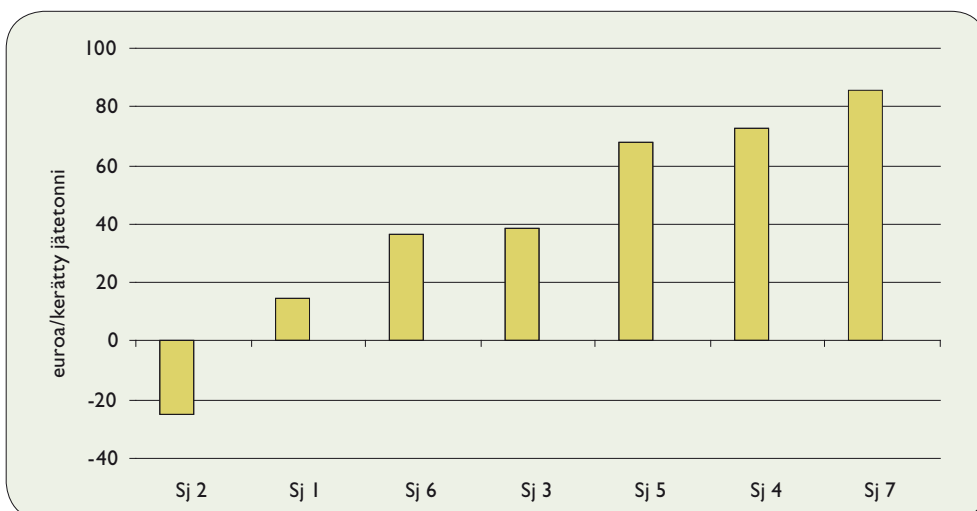
Sekajätteen kaatopaikkasijoittaminen (Sj 7) on myös taloudellisesta näkökulmasta kannattamattomin vaihtoehto. Jos tarkastellaan järjestelmistä syntyviä perinteisiä kustannuseriä, eli jätteen noutoa ja kuljetusta, laituskustannuksia ja loppusijoituskustannuksia, on kaatopaikkasijoittaminen halvin käsittelyvaihtoehto 25 %:n erolla toiseksi kalleimpaan menetelmään nähden. Ympäristökustannusten lisääminen tarkasteluun ei muuta tulosta, koska kaasunkeräysjärjestelmällä varustettu kaatopaikka

synnyttää vain vähänlaisesti ympäristövaikutuksia. Sekajätteen kaatopaikkasijoittaminen muodostuu muita tarkasteltavia vaihtoehtoja kalliimmaksi, kun tarkastelussa huomioidaan korvattava energiantuotantojärjestelmä ja sen vältetyt kustannukset. Kaatopaikan tuottaman energian määrä samasta jätemäärästä on alhainen, vain noin 10 %, verrattuna sekajätteen polttolaitosten tuottamaan energiaan. Tällöin myös korvattavan energialähteen vaikutus jää muita vaihtoehtoja alhaisemmaksi ja polttoratkaisut muodostuvat kaatopaikkasijoittamista kannattavammaksi.

Tuloksia tulkittaessa on hyvä pitää mielessä, että sekajätteen polttoratkaisujen (Sj 1-6) osalta on jätetty tarkastelematta vältetyn kaatopaikkasijoituksen tuottamat ympäristövaikutukset ja taloudelliset kustannussäästöt, koska vaikutus on yhtäläinen kaikille polttoratkaisulle. Mikäli vältetyn kaatopaikkasijoittamisen kustannussäästöt lisättäisiin tarkasteltujen polttoratkaisujen vältettyihin kustannuksiin, sekajätteen kaatopaikkasijoituksen (Sj 7) kalleus korostuisi muihin vaihtoehtoihin nähden, mutta polttoratkaisujen keskinäiseen kannattavuuteen tällä ei kuitenkaan olisi merkitystä.



Kuva 28. Sekajätteen hyödyntämisvaihtoehtojen kokonaiskustannukset ja vältetyt kokonaiskustannukset sekajätetonna kohti. Vasemmalla alhaisimmat nettokustannukset saanut ja oikealla suurimmat nettokustannukset saanut vaihtoehto.



Kuva 29. Sekajätteen eri käsittelyketjujen yhteiskunnalliset nettokustannukset kerättyä sekajätetonna kohden ilmaistuna.

Kuitupakkaukset, puu ja muovit

3.3.1

Kuitujätteiden rahdin välttäminen

Kuitupakkauksia hyödynnetään nykyisin Suomessa pääasiassa hylsykartongin raaka-aineena. Hylsykartongista valmistetaan hylsyjä, joita käytetään tuoterullien sisustoina paperi- ja kartonkitekiteollisuudessa ja tekstiililankojen, muovikalvojen, joustopakkausten ja metallifolioiden tuotannossa. Suomessa tuotetaan hylsykartonkia yhteensä noin 300 000 tonnia vuodessa, josta Stora Enson Corenson tehtailla Porissa 130 000 t/v, Varkaudessa 100 000 t/v ja Sonoco-Alcoren tehtailla Karhulassa 67 000 t/v.

Hylsykartongin raaka-aineena voidaan käyttää joko yksinomaan kierrätyskartonkia tai eri suhteissa kierrätyskartonkia ja neitseellisiä kuituja, riippuen lopputuotteen laatuvaatimuksista. Pääosaan hylsykartonkituotteista ei kuitenkaan käytetä muita kuin kierrätyskuituja ja lujimmassa hylsykartonkituotteissa neitseellisten kuitujen korvaaminen ei välttämättä onnistu ainakaan kaikissa valmistusprosesseissa lopputuotteen laatua vaarantamatta. On lisäksi epätodennäköistä, että hylsyjä valmistettaisiin enää nykyisin kokonaan neitseellisestä kuidusta valmistetusta hylsykartongista, vaan hylsymateriaalivaihtoehtoina saattaisivat toimia muut materiaalit, kuten esim. muovi tai alumiini.

Näistä syistä kuitupakkausten materiaalihyödyntämisen hyvityslaskelmissa ei tarkasteltu neitseellisten kuitujen säästöä, vaan oletettiin, että lisääntyvä kuitupakkausten hyötykäyttö vähentäisi kuitupakkausten tuontia ja näin vältettäisiin materiaalin 1222 kilometrin laivarahti Saksasta (Liite 2, Kuva 8). Nettohyvitykseksi saadaan noin 30 kg CO₂-ekv/kuitujätetonni, eli kuljetusten säästämällä on hyvin pieni vaikutus esim. polton hyötyihin verrattuna.

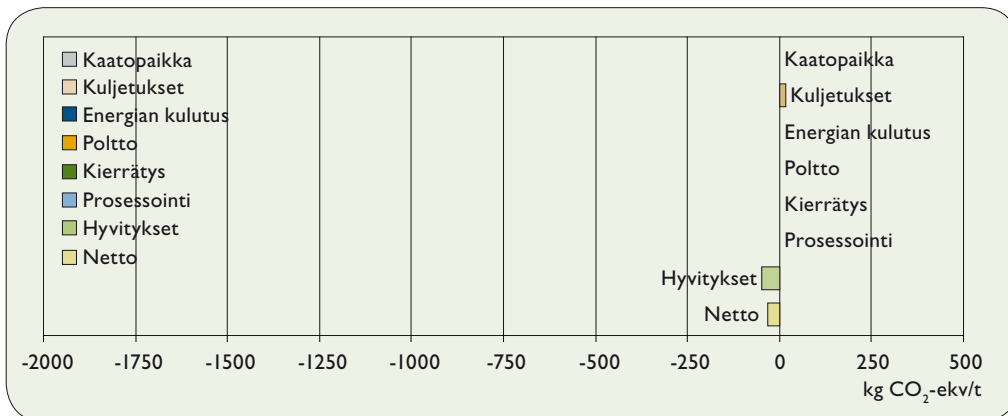
Kuitupakkausten rahti aiheuttaa muiden jätelajien hyödyntämiseen verrattuna vain vähäisiä ympäristövaikutuksia, mutta ei toisaalta säästäkään niitä (Kuva 31). Rahtilaivan päästöjen säästöistä merkittävimmät ovat typen ja rikin oksidien välttäminen, jolloin vähennetään myös hiukkasvaikutuksen, happamoitumisen ja maaperän rehevöitymisen todennäköisyyttä.

Kuitupakkausjätteen materiaalihyödyntämisen kustannukset ja kustannussäästöt syntyvät maa- ja merikuljetuksista (Kuva 32). Suomesta kerättävän kuitupakkausjätteen 22 euron hyödyntämisketjun kustannuksen laskentaperusteena on käytetty 318 kilometrin kuljetusmatkaa (Helsinki-Varkaus). Saksasta tuotavan kuitupakkausjätteen osalta maantiekuljetukset, yhteensä 636 kilometriä, muodostavat 60 % kustannuksista. Laivarahdin matkana on käytetty 1222 kilometriä (Travemünde-Helsinki) ja sen osuus kustannussäästöistä on 40 %. Vaikka meriteitse kuljettu matka on maa-kuljetusta pidempi, on sen yksikkökuljetuskustannus alhaisempi laivan suuremman rahtikapasiteetin ansiosta (Myllymaa ym. 2008).

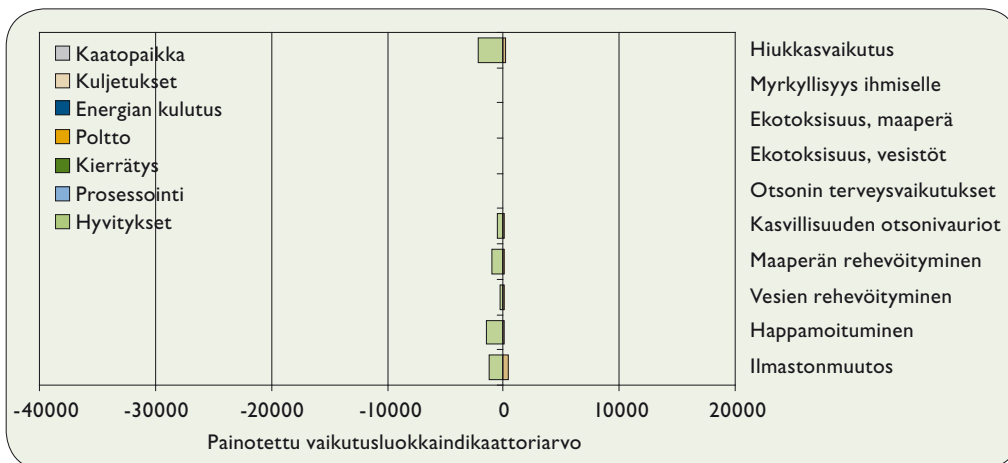
Kuljetusta varten kuitupakkausjäte paalataan suurempien rahtierien mahdollistamiseksi. Paalauksen nettokustannusvaikutus on kuitenkin nolla, koska kustannuksen (n. 30 e/t) (Myllymaa ym. 2008) voidaan olettaa olevan yhtä suuri kerätylle kuitupakkausjätteelle ja Saksasta tuotavalle, korvattavalle kuitupakkausjätteelle.

Kuitupakkausjätteen materiaalihyödyntämisen synnyttämät ympäristökustannukset ja -hyvitykset ovat merkityksettömiä kokonaisratkaisun kannalta ja esim. vain noin kymmenesosa polton vastaavista ympäristökustannusvaikutuksista.

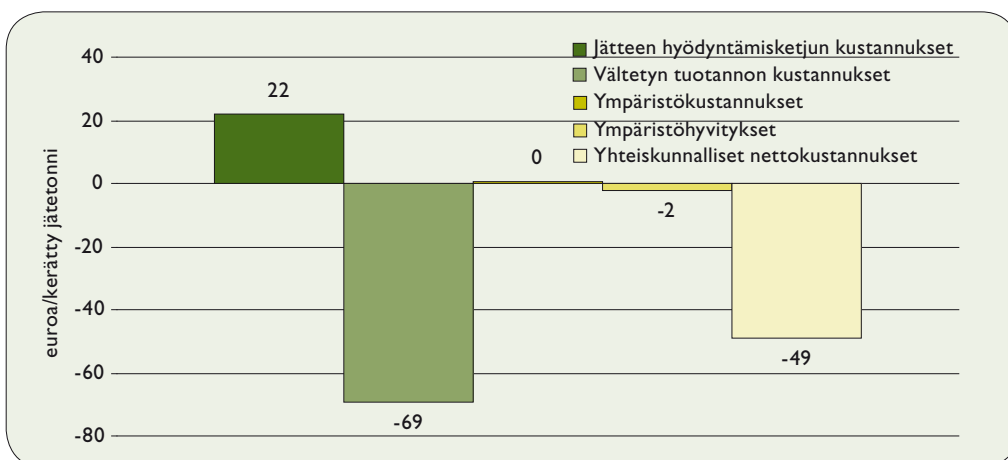
Yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus kuitupakkausjätteen hyödyntämisestä raaka-aineena hylsykartongin valmistuksessa ja Saksasta tuotavan raaka-aineen välttämisestä on negatiivinen, kokonaisuudessaan noin 50 euroa jätetonnilta.



Kuva 30. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitujätetonna kohti, kun kuitupakkausjäte korvaa Saksasta laivarahtina tuotua kuitupakkausjätettä. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 31. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun kuitupakkausjäte korvaa Saksasta laivarahtina tuotua kuitupakkausjätettä. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



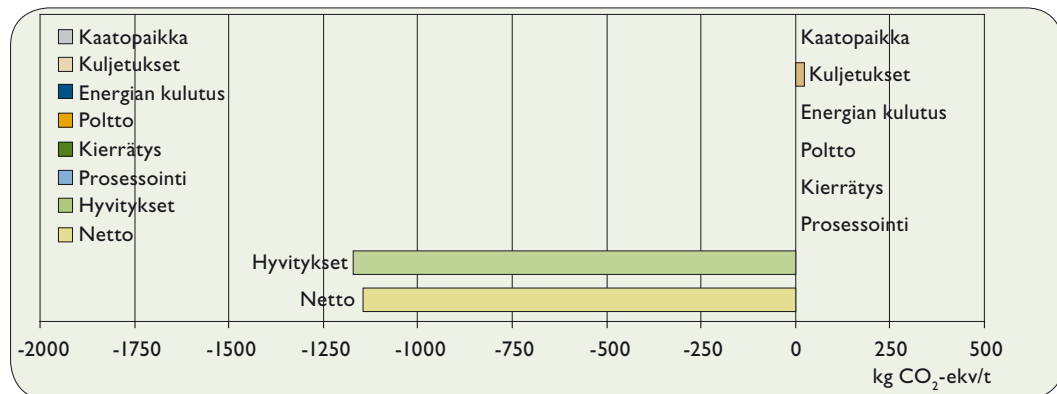
Kuva 32. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitupakkausjäte korvaa Saksasta laivarahtina tuotua kuitupakkausjätettä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Jätepuun hyödyntäminen raaka-aineena

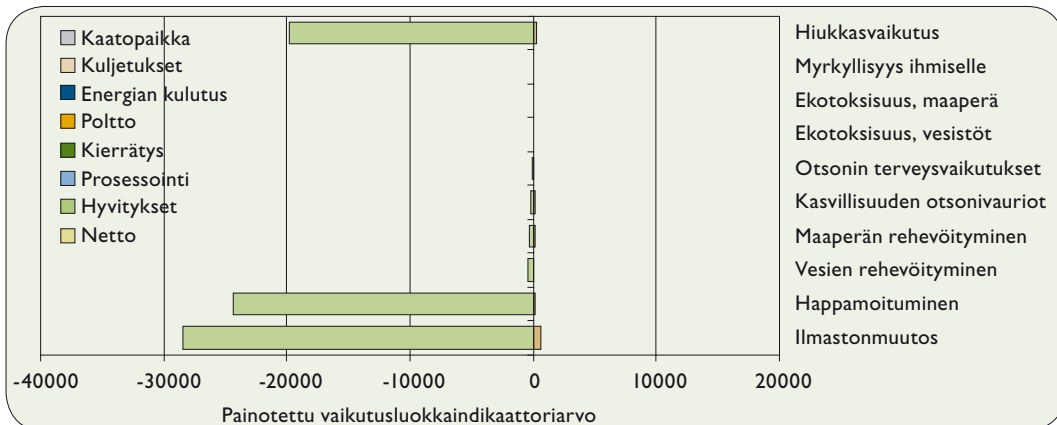
Jätepuun raaka-ainehyödytyksen löytäminen oli haasteellista. Tarkoituksena oli löytää prosessit, jotka vältettäisiin, jos jättepuuta päätyisi nykyistä enemmän hyötykäyttöön. Tällä hetkellä ei kuitenkaan synny sahojen sivutuotteita ja muita tasalaatuisia puueriä, joita ei jo hyödynnettäisi. Kierrätyksen lisähyötyjä on vaikea löytää vain eri hyötykäyttötapojen suhteita muuttamalla. Yhtenä näkemyksenä oli, että uusi jäteraaka-aine tulisi sahauskeskusten sivutuotteiden rinnalle ja tilalle edesauttamaan lastulevyntuotannon jatkumista (Janatuinen 2007). Lastulevyteollisuuden on myös todettu voivan käyttää laadultaan puunjalostusteollisuuden huonointa puuta (Pöyry Consulting 2005). Puun kierrätysvaihtoehdossa päädyttiin lopulta oletukseen, että esikäsittely jättepuu päätyy lastulevyn valmistukseen, josta vapautuu haketta poltettavaksi toisaalla turpeen sijaan (Liite 2, Kuva 9). Kyseessä on siis samanaikaisesti kierrätys- ja polttovaihtoehto.

Alkuperäisestä 1 000 tonnin puuerästä noin 980 t on arvioitu päätyvän esikäsittelyn jälkeen poltettavaksi, ja poltossa syntyväksi energiamääräksi on arvioitu noin 6 000 GJ. Tällöin oletetaan jättepuun vastaavan jo valmiiksi lastulevyn raaka-aineelle asetettuja laatuvaatimuksia. Puun poltosta ei synny fossiilista hiilidioksidia, joten CO₂-ekvivalentteina tuloksena on vain hyötyksiä (Kuva 33), jotka ovat peräisin turpeen käytön välttämisestä.

Ilmastonmuutos on sekä kuormitus- että hyötyynäkökulmasta merkittävin ympäristövaikutus, kun puun poltolla korvataan turpeen polttoa (Kuva 34). Muut merkittävät säästöt syntyvät typen ja rikin oksidien päästöjen välttämisestä, jolloin saadaan hyötyksinä säästöjä hiukkasvaikutusten ja happamoitumisen vaikutusluokissa.



Kuva 33. CO₂-ekv-päästöt (kg) 1000 tonnia puuta kohti, kun puu esikäsitellään, käytetään lastulevyn raaka-aineeksi ja se vapauttaa toisaalla puuta poltettavaksi turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



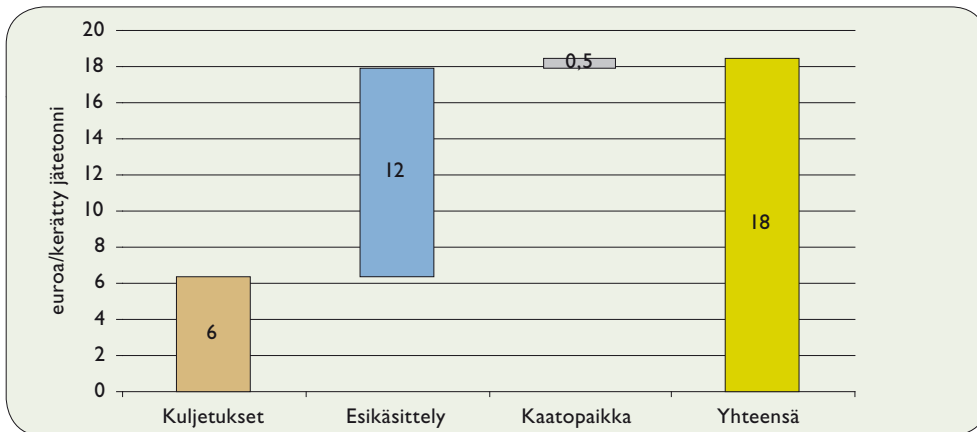
Kuva 34. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun puun poltolla korvataan turpeen polttoa. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.

Jätepuun materiaalihyödyntäminen lastulevyn raaka-aineeksi vaatii puulle mekaanisen esikäsittelyn, jolla varmistetaan uusioraaka-aineen riittävä puhtaus (Myllymaa ym. 2008). Esikäsittelyn lisäksi jätepuun käsittelyn kustannukset syntyvät puun kuljetuksesta ja esikäsittelystä syntyvän rejektin kaatopaikkasijoittamisesta (Kuva 35). Kuljetuskustannukset kattavat kaikista kustannuksista noin 30 % ja niiden laskentaperusteena on käytetty 50 kilometrin kuljetusmatkaa. Näillä oletuksilla jätepuun hyödyntämisketjun kokonaiskustannuksiksi muodostuu 18 euroa/jätetonni.

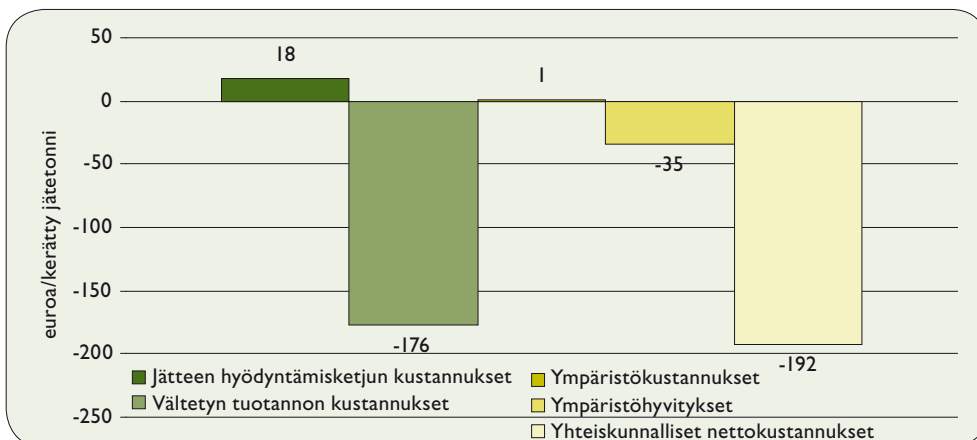
Jätepuun materiaalihyödyntäminen tuottaa huomattavat yhteiskunnalliset nettohyödyt, 192 e/jätetonni (Kuva 36), joiden muodostumiseen vaikuttavat merkittävimmin korvatusjärjestelmän vältetyt kustannukset ja ympäristöhyvitykset. Pääosin kuljetuksista syntyvien ympäristökustannusten osuus kokonaislaskelman kannalta on merkityksetön.

Jätepuun hyödyntäminen muun puun tilalla lastulevyn valmistuksessa ja vapautuvan puun hyödyntäminen energialähteenä turpeen tilalla tuottaa taloudellisessa mielessä kaksivaiheiset kustannussäästöt. Lastulevyn valmistuksessa kustannussäästöä syntyy muun käytettävän puun esim. hakkeen raaka-ainehinnan välttämisenä. Käyttämättä jäänyt hake vapauttaa puolestaan turvetta energiantuotannossa, jolloin saadaan kustannussäästöjä hakkeen ja turpeen hintaerotuksen verran. Lisäksi turpeen korvaaminen hakkeella tuottaa päästökauppasäästöjä, kun puun poltosta ei synny fossiilista hiilidioksidia.

Ympäristöhyvitykset perustuvat turpeen polton välttämisen tuottamiin kustannussäästöihin. CO₂-päästöjen välttäminen synnyttää noin 70 % kustannussäästöistä, SO₂-päästöjen välttäminen loput noin 30 %. Muiden päästöjen kustannusvaikutus on merkityksetön.



Kuva 35. Jätepuun hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonnia kohden ilmaistuna.



Kuva 36. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatusjärjestelmän vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun puu esikäsitellään, käytetään lastulevyn raaka-aineeksi ja se vapauttaa toisaalla puuta poltettavaksi turpeen sijaan. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Jätemuovin kierrätys uusioraaka-aineeksi

Muovin valmistus öljystä ja maakaasusta vaatii paljon energiaa, noin 20 GJ/muovitonni (Myllymaa ym. 2008). Lisäksi tonni muovia vaatii raaka-aineeseen 1,14 tonnia fossiilisia raaka-aineita. Muovi on uudelleen muovautuvana ja sulatettavana tuotteena mahdollista palauttaa uudelleen raaka-aineeksi, mikäli se laadullisesti soveltuu uuteen muovituotteeseen ja sen valmistusprosessiin.

Muovin kierrätysvaihtoehdoksi valittiin käsittelyketju, jossa jätemuovi ensin murskataan ja granuloidaan ja käytetään sitten muovituotteen – tässä tapauksessa viemäriputken valmistuksen – raaka-aineena (Lähteenmaa 2007) (Liite 2, Kuva 10). Muovin kierrätyksen massataseessa 1 000 tonnista muovia saadaan 994 t uusioraaka-ainetta. Näillä oletuksilla edellytyksenä on, että muovi on laadultaan hyvälaatuista.

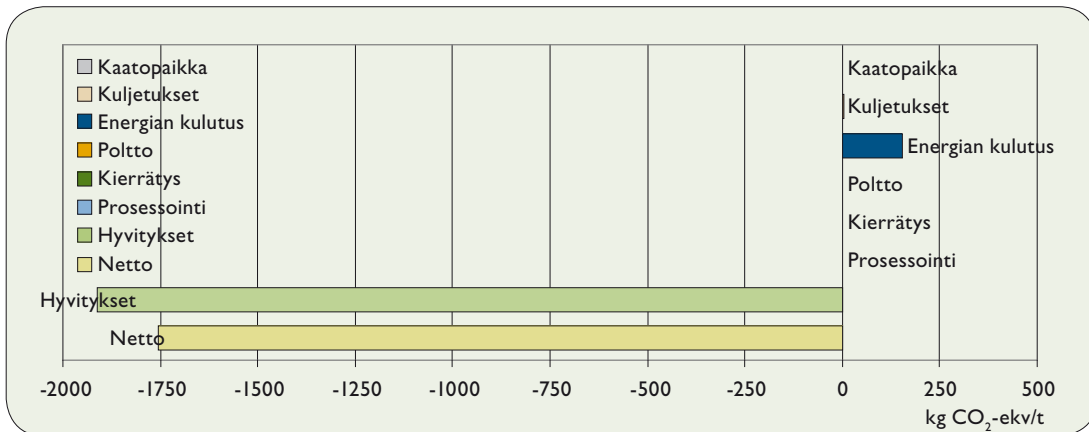
Muovin mekaaninen käsittely eli murskaus ja granulointi kuluttavat energiaa melko paljon, noin 1 690 MJ/tonni, mutta kokonaistarkastelussa kierrätys jää kuitenkin huomattavasti hyötyjen puolelle (Kuva 37): nettohyödyt yltyvät 1 750 kg:aan CO₂-ekv/muovijätetonni saakka.

Muovin kierrätyksen suurimmat ympäristövaikutukset liittyvät ilmastomuutoksen lisäksi hiukkasiin ja happamoitumiseen, jotka ovat peräisin kierrätyksen käyttämästä energiasta (Kuva 38). Ensiömuovin valmistusprosessin välttämisestä saatavat säästöt kuitenkin ylittävät kuormituksen moninkertaisesti: ilmastomuutoksen jälkeen suurimmat säästöt liittyvät hiukkasiin, happamoitumiseen ja kasvillisuuden otsonivaurioihin. Hiukkasvaikutus ja happamoituminen johtuvat typen ja rikin oksideista, otsonivauriot puolestaan metaanipäästöistä ja typen oksideista.

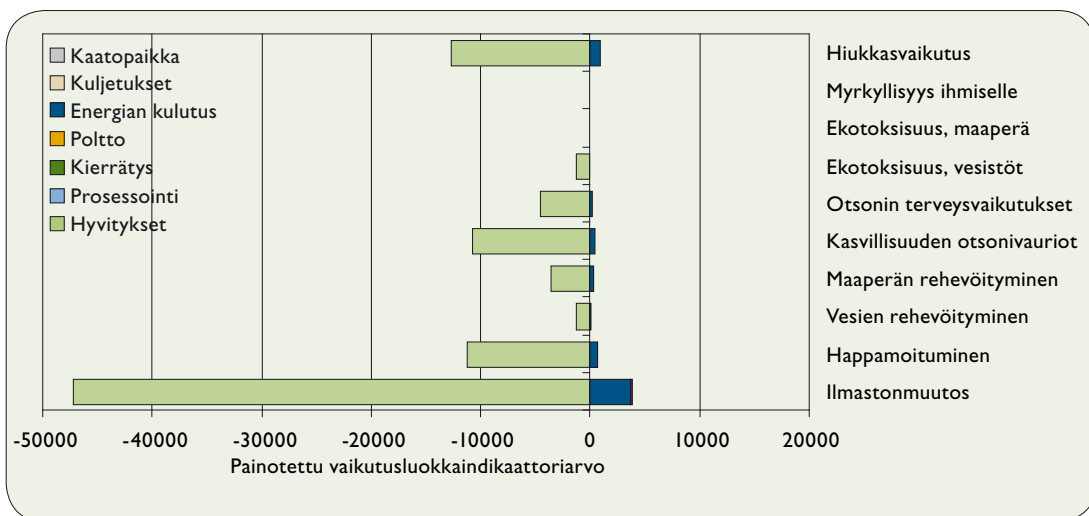
Jätemuovin kierrättäminen uusiomuoviksi on suhteellisen kallis prosessi, mutta uusiomuovin hyödyntäminen ensiömuovin tilalla tuottaa kuitenkin merkittävät yhteiskunnalliset kustannussäästöt, noin 820 e/jätetonni. Tämä tulos perustuu siihen, että ensiömuovin valmistusprosessin kustannukset ovat yli kaksinkertaiset uusiomuoviin verrattuna (Kuva 39). Jätemuovin murskauksen ja granuloinnin lisäksi hyödyntämisketjun muut kustannukset syntyvät jätemuovin kuljetuksesta ja käsittelyssä erotellun 1 %:n rejektierän kaatopaikkasijoituksesta. Hyödyntämisketjun kustannus on noin 450 e/jätetonni (Kuva 39).

Uusiomuovin käytöllä vältetään ensiömuovin valmistuksessa käytettävän öljyn ja maakaasun käyttöä ja näin ollen pidennetään tunnettujen varantojen hyödyntämistä. Vältettyinä kustannuksina haluttiinkin tarkastella myös ensiömuovin valmistuksessa käytettävän öljyn ja maakaasun reservien ehtymisen vaikutusta: kustannuserä on kuitenkin häviävän pieni, alle promillen kaikista vältetyistä kustannuksista.

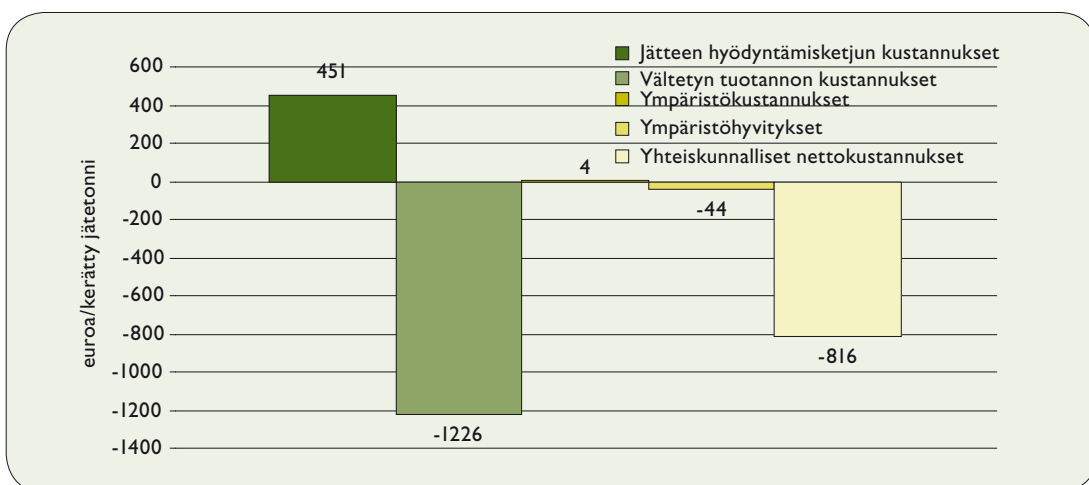
Ympäristökustannusten ja -hyvitysten rooli jää jälleen kerran mitättömäksi kokonaisnettokustannusten kannalta. Hiilidioksidipäästöjen vaikutus on kummassakin kustannuserässä noin 85 %. Ensiömuovin valmistuksen aiheuttamien CO₂-päästöjen kustannusvaikutus on kuitenkin noin kymmenkertainen uusiomuovin valmistuksen CO₂-päästöjen kustannusvaikutukseen nähden.



Kuva 37. CO₂-ekv-päästöt (kg) jätemuovitonnia kohti, kun muovi esikäsitellään ja käytetään muovituotteiden raaka-aineena ensiömuovin sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 38. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätemuovin kierrätyksellä korvataan ensiömuovin käyttöä. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina. Huomaa: asteikon pienin arvo on -50 000, kun muissa kierrätyspolttoaineen ja sekajätteen ketjuissa pienin arvo on -40 000.



Kuva 39. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätemuovin kierrätyksellä korvataan ensiömuovin käyttöä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Arinapoltto teollisuusalueella

Kuitupakkaukset, puu ja muovit ovat materiaaleja, joille löytyy hyödyntämiskohteita sekä materiaalina että polttoaineena. Jos jätteen kertymäalueella on arinapolttolaitos, yksi vaihtoehtoista on polttaa nämä jätejakeet samassa laitoksessa sekajätteen kanssa. Tällöin hyötysuhde voi olla teollisuuden prosessihöyryn käytön myötä saavutettava 80 % (vrt. luku 4.1.1). Vältettävien polttoaineiden yhdistelminä on mallinnettu samat kolme vaihtoehtoa kuin sekajätteen polton tapauksessakin, eli 1) puun, maakaasun ja kivihiilen seos, 2) öljyn, puun, maakaasun ja kivihiilen seos tai 3) turve.

Kuitu-, puu- ja muovijätteiden polttamisessa on käytetty samaa energiasisältöä ja päästökerrointa kuin niiden kanssa yhtä aikaa poltettavalle sekajätteelle, koska energiajätteiden määrät ovat melko vähäisiä verrattuna sekajättemääriin. Oletuksen merkitys energiajätteen eri käsittelyvaihtoehtojen vertailussa ei ole kovin suuri, mutta se on pidettävä mielessä tehtäessä vertailuja sekajätteen ja energiajätteen välillä.

Poltossa syntyvät päästöt perustuvat siis Tilastokeskuksen polttoaineluokitukseen, jonka mukaan sekajätteen CO₂-päästökerroin on 31,8 kg/GJ (Tilastokeskus 2005), eli noin 350 kg CO₂-ekv/jätetonne. Kuten sekajätteen kohdalla jo todettiin, päästön määrä on poltettua jätetonna kohti ilmoitettuna polttomenetelmästä riippumaton ja päästön ratkaisee se, miten suuri osuus alkuperäisestä jätteestä poltetaan ja mikä on polttoaineen oletettu energiasisältö.

Kuitupakkauksille, puulle ja muoville ei ole mallinnettu jätteen noutoa sekajätteen tapaan, vaan kuljetukset on oletettu toteutettavaksi täysinä kuormina suoraan jätteiden syntypisteistä. Ympäristövaikutusten tarkastelussa mallintamatta jätetyllä jätteen noudolla ei ole merkitystä, mutta kustannustarkastelussa noutotyön ja kuljetusten osuus kokonaiskustannuksista on tyypillisesti niin suuri, että oletus on pidettävä mielessä tehtäessä vertailuja sekajätteen ja kierrätyspolttoaineeksi työstettyjen teollisuuden energiajätteiden polttovaihtoehtojen välillä.

3.3.4.1

Korvattavina polttoaineina puu, maakaasu ja kivihiili (Kp 1)

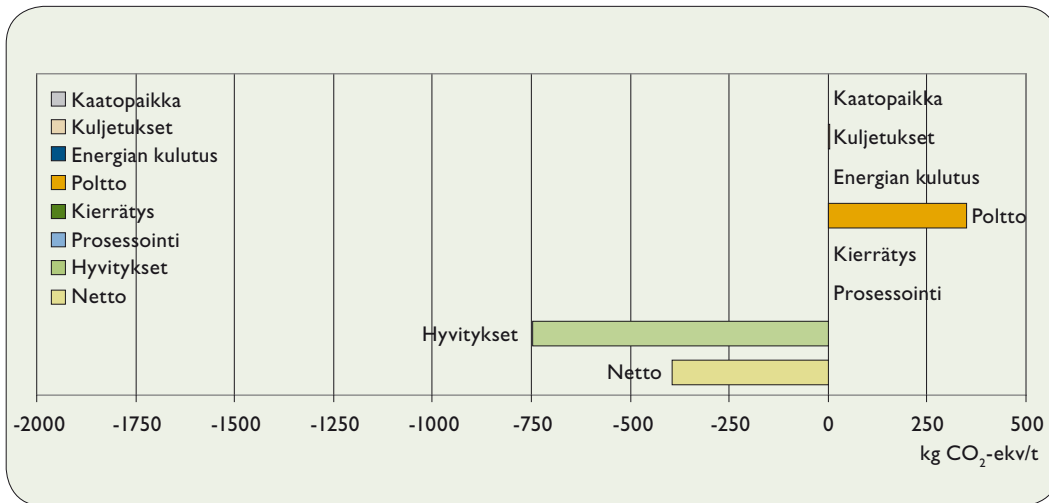
Jos jäteperäisen lämpöenergian käyttää puunjalostusteollisuuden laitos, arinalaitoksen tuottama energia voisi korvata tehtaan lämpölaitoksen käyttämiä polttoaineita, kuten esim. puuta ja maakaasua (esim. Kirkiniemi) (Liite 2, Kuva 11) ja sähkö kivihiililauhdetta. Poltetusta tuhannesta jätetonnista syntyy noin 190 t tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavaa jätettä, noin 70 t ongelmajätteeksi luokiteltavaa jätettä ja noin 8900 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä, eli vastaavasti kuin sekajätteen arinapoltossa.

Näillä oletuksilla kuitu-, puu- ja muovijätteiden poltolla kierrätyspolttoaineena (Kp) saavutettava nettohyöty on sama kuin sekajätteelle, eli noin 390 kg CO₂-ekv/sekajätetonne (Kuva 40).

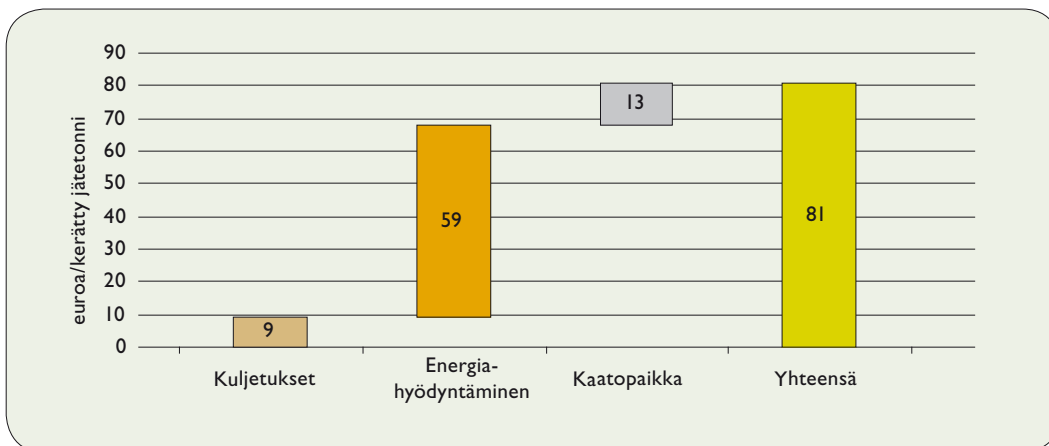
Kuitujen, puun ja muovin polton hyvityksistä saamista hyödyistä noin 90 % johtuu kivihiililauhteen käytön välttämisestä.

Ilmastonmuutoksen ohella kuitujen, puun ja muovin poltto voi aiheuttaa myös muita potentiaalisia ympäristövaikutuksia, jotka ovat samat kuin sekajätteen arinapoltossa (Kuva 2): hiukkasvaikutus voi heikentää terveyttä ja lisäksi ympäristöön kohdistuu SO_x- ja NO_x-päästöjen myötä happamoittavaa vaikutusta. Kaatopaikalle sijoitettavan tuhkan sisältämä kupari saattaa päätyä vesistöihin, joten potentiaalisena vaikutuksena on ekotoksisuuden lisääntyminen vesistöissä.

Kuitu-, puu- ja muovijätteiden polttaminen teollisuuden yhteyteen sijoitettuna arinapolttolaitoksessa tuottaa samat yksikkökustannukset kerättyä jätetonna kohden kuin vastaavalla tavalla käsitellyn sekajätteen (Sj 1) tapauksessa (Kuva 41). Myös poltosta syntyvien tuhkien loppusijoituksen kustannukset ja tuhkien kuljetuksen kustannukset ovat samat riippumatta poltettavasta jätelajista.



Kuva 40. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltosta (Kp I) jätetonna kohti, kun tuotettu lämpöenergia korvaa puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihilauhteella tuotettua sähköä. Käytetty sekajätteen päästökertoimia ja energiasisältöä. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 41. Kuitu-, puu- ja muovijätteen (Kp I) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Ero sekajätteen tarkasteluun (vrt. luku 3.2.1.1) syntyy järjestelmämallinnuksessa tehdystä päätöksestä, jonka mukaan sekajätettä ja biojätettä lukuun ottamatta muille jakeille ei mallinneta jätteen noutotyön vaikutuksia, vaan tarkastellaan täyden kuorman kuljetuksen vaikutuksia, koska jätteitä on oletettu syntyvän suurina erinä. Kuitu-, puu- ja muovijätteen kuljetuskustannusten osuus supistuu näin ollen noin 10 %:iin kaikista yksityistaloudellisista kustannuksista. Hyödyntämisketjun kustannukset ovat em. oletuksilla noin 80 e/jätetonna. Täydellisen taloudellisen tarkastelun tekeminen vaatisi jätelajikohtaisen keräysjärjestelmän mallintamista ja sille kustannustiedon tuottamista. Yleisellä tasolla voidaan todeta, että kuitu-, puu- ja muovijätteen noudon kustannukset ovat kotitalouksilta noudettavien jakeiden noutokustannuksia alhaisemmat. Myös pelkän kuljetuksen tonnimääräisen kustannuksen on oletettu samalla välimatkalla olevan sekajätteen kuljetusta alhaisempi, koska kuitu-, puu- ja muovijätteellä on suurempi kuormapaino.

Jos kuitu-, puu ja muovijäte korvaavat energialähteinä kivihiihtä, puuta ja maakaasua, saavutetut kustannussäästöt ovat samat sekajätteen arinapolton kanssa eli 126 euroa kerätyltä jätetonnilta (Kuva 4). Ympäristökustannusten ja -hyötyjen suuruus pysyy niin ikään samana, kun tarkastellaan samaa polttoprosessia ja samoja korvattavia energiantuotantomuotoja. Jätteenpoltosta aiheutuvat CO₂-ekv. päästöt muodostavat ympäristökustannuksista 90 % ja kuitujen, puun ja muovin polton synnyttämistä ympäristöhyödyistä puolestaan 95 % syntyy vältettyjen CO₂-ekv. päästöjen kautta.

Yhteiskunnalliset nettokustannukset kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltoista ovat negatiiviset eli saadaan nettohyötyjä noin 50 euroa/jätetonna, jos korvattavaksi energiantuotannoksi voidaan olettaa sähköntuotanto kivihiihilauhteella ja lämmöntuotanto puulla ja maakaasulla (Kuva 42). Saavutettu nettohyöty on nouto- ja kuljetuskustannusten erotuksen verran korkeampi kuin sekajätteen arinapoltoista (Sj 1) samoilla korvattavilla energialähteillä aiheutuva nettokustannus.

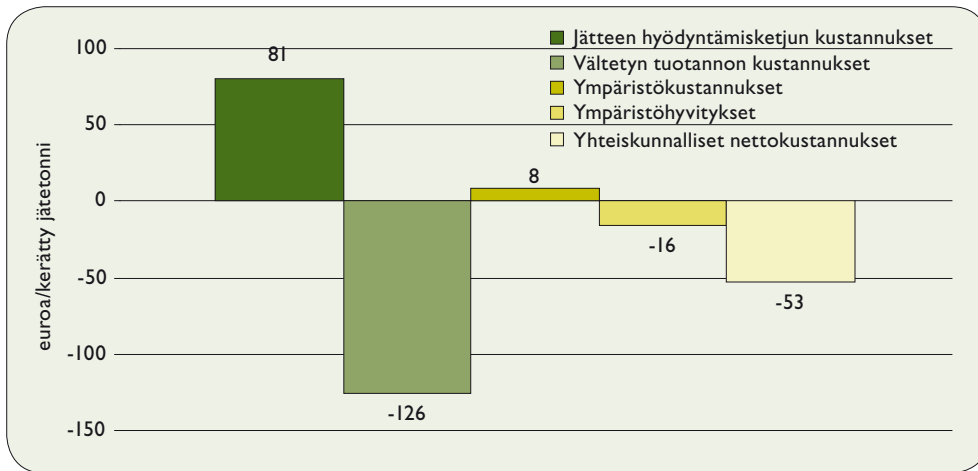
3.3.4.2

Korvattavina polttoaineina öljy, puu, maakaasu ja kivihiihi (Kp 2)

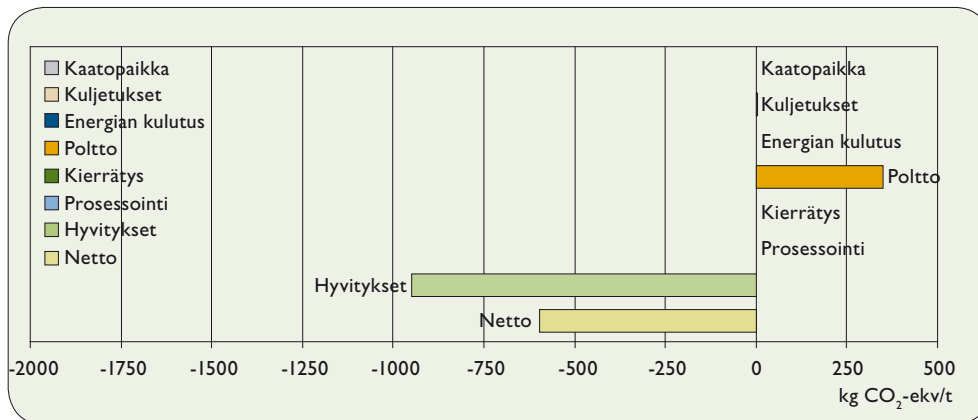
Jos prosessihöyryä tarvitsevan teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitettu laitos korvaa öljyä, puuta ja pieniä määriä maakaasua (Liite 2, Kuva 12), saadaan hyvityksiä noin 950 kg CO₂-ekv./jätetonna, ja nettohyödyksi 590 kg CO₂-ekv./jätetonna (Kuva 43). Poltetusta tuhannesta jätetonnista syntyy tavanomaista jätettä saman verran kuin vaihtoehdossa Kp 1, eli noin 190 t, noin 70 t ongelmajätteeksi luokiteltavaa jätettä ja noin 9 000 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä.

Hyödyistä pääosa, yli 70 %, on peräisin kivihiihilauhteen korvaamisesta ja noin 15 % öljyn korvaamisesta. Muita potentiaalisia ympäristövaikutuksia ovat tässäkin vaihtoehdossa käytetyillä mallinnusoletuksilla hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöjen kasvava ekotoksisuus (Kuva 6).

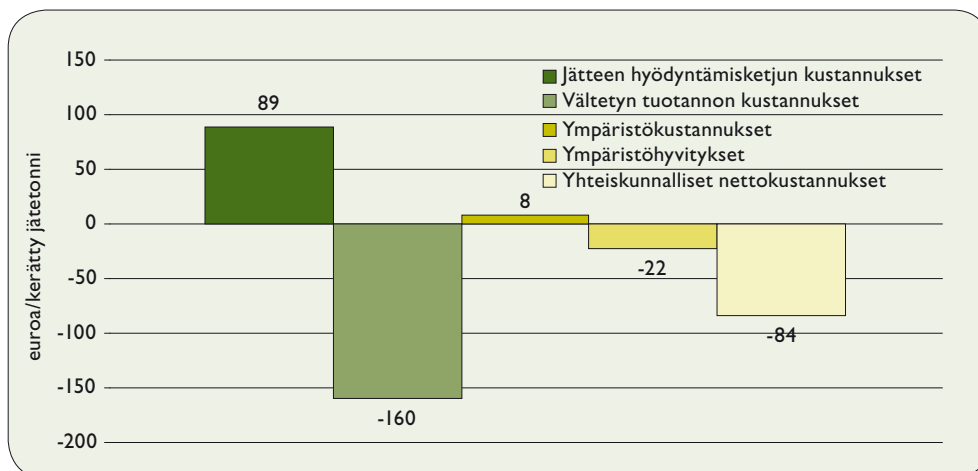
Hyödyntämisketjun kustannukset ovat sekajätteen arinapoltoissa noin 150 e/jätetonna (Kuva 7), josta ilman noutokuljetuksia muotoutuu teollisuuden kuitu-, puu- ja muovijätteille noin 90 e/jätetonna (Kuva 44). Yhteiskunnalliset nettokustannukset kuitujen, puun ja muovin poltoista ovat negatiiviset ja saavutettavat nettohyödyt, noin 85 euroa tonnilta, ovat edellä tarkasteltua vaihtoehtoa (Kp 1) suuremmat, koska arinapolttolaitoksen tuottama energia korvaa määrällisesti enemmän fossiilisia polttoaineita (Kuva 44), tässä tapauksessa öljyä. Vältettyjen päästöoikeuksien tuottama kustannussäästö on noin 10 %, kivihiihilauhteen energiantuotannon välttäminen noin 25 % ja erillisen lämmöntuotannon välttäminen noin 65 % kaikista vältetyistä kustannuksista. Yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus on sekajätteen arinapoltoon (Sj 2) verrattuna nouto- ja kuljetuskustannusten erotuksen verran alhaisempi.



Kuva 42. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitu-, puu- ja muovijäte arinapoltetaan (Kp 1) ja tuotettu lämpöenergia korvaa puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihilauhteella tuotettua sähköä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.



Kuva 43. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltosta (Kp 2) jätetonna kohti, kun tuotettu lämpöenergia korvaa öljyn, puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihilauhteella tuotettua sähköä. Käytetty sekajätteen päästökertoimia ja energiasisältöä. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 44. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitu-, puu- ja muovijäte arinapoltetaan (Kp 2) ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyn, puun ja maakaasun polttoa ja sähkö kivihiihilauhteella tuotettua sähköä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

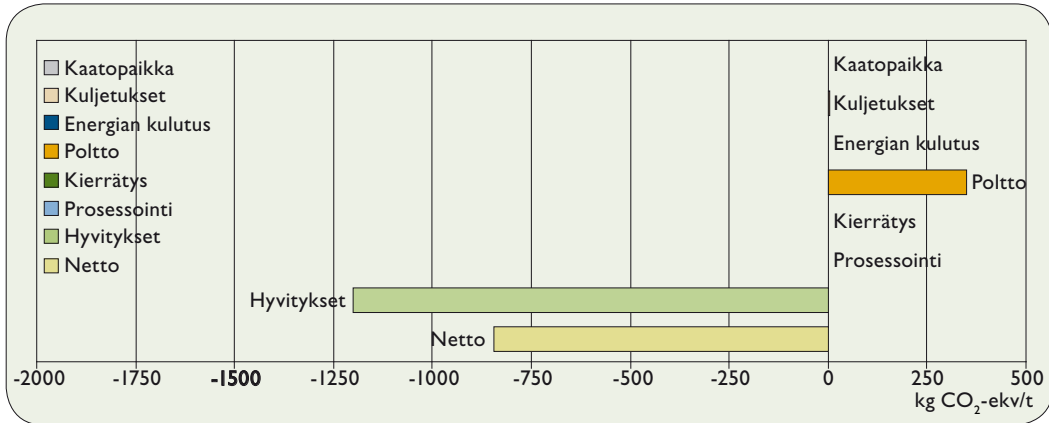
3.3.4.3

Korvattavana polttoaineena turve (Kp 3)

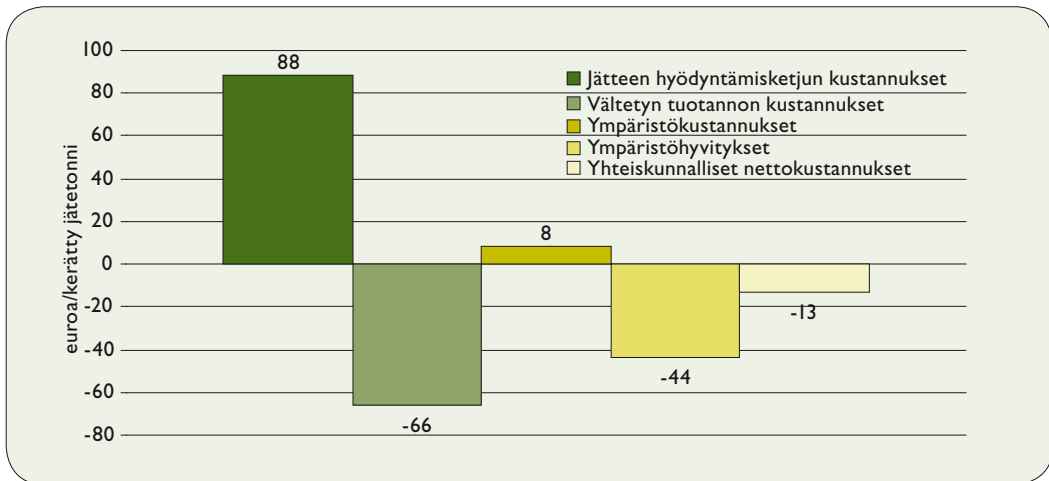
Jos mallinnetaan tilannetta, jossa teollisuuslaitoksen yhteyteen perustettu laitos korvaa sähköä ja lämpöä tuottavan turvelaitoksen energiaa (Liite 2, Kuva 13), saavutettavissa olevien hyötyjen kannalta ratkaisevaa on erot laitosten rakennussuhteissa. Sähköä ja lämpöä tuottavassa turvevoimalassa, jonka rakennussuhde on 0,46, saadaan hyötykäyttöön noin 83 % polttoaineiden energiasta (Myllymaa ym. 2008). Alueelle suunnitellun arinakattilan rakennussuhteeksi on esitetty samaa lukemaa, joten hyvitystilanteessa ei pääse syntymään sähkövajetta. Näillä ratkaisuilla hyvityksiä syntyy noin 1 200 kg CO₂-ekv/sekajätettonni, ja nettohyödyksi saadaan noin 840 kg CO₂-ekv/sekajätettonni (Kuva 45). Poltetusta tuhannesta jätetonnista syntyy tavanomaista jätettä saman verran kuin vaihtoehdossa Kp 1, eli noin 190 t, noin 70 t ongelmajätteeksi luokiteltavaa jätettä ja noin 9000 GJ energiaa, josta noin 30 % on sähköä. Toiminnan potentiaaliset ympäristövaikutukset ovat jälleen vastaavat kuin sekajätteen hyödyntämisellä vastaavassa tilanteessa (Kuva 9): hyvitykset keskeisimmässä vaikutusluokissa ovat huomattavasti edellistä vaihtoehtoa (Kp 2) suuremman turpeen korvaamisen ansiosta.

Hyödyntämisketjun kustannukset kuitujen, puun ja muovin poltolle ovat aiemmillä vaihtoehdoille todettua suuruusluokkaa, noin 90 e/jätettonni. Taloudelliset hyödyt eli kustannussäästöt vältetystä turpeen poltosta ovat puolestaan edellä tarkasteltujen vaihtoehtojen (Kp 1 ja 2) tuottamia kustannussäästöjä alhaisemmat turpeesta yhteistuotannolla tuotetun energian alhaisempien tuotantokustannusten takia (Kuva 46). Turpeen polton välttämisestä saadaan suurimmat päästökauppasäästöt, noin 40 % vältetyistä kustannuksista, mutta ne eivät riitä kompensoimaan halvempia energiantuotannon kustannuksia.

Turpeen polttoa korvattaessa yhteiskunnallinen nettokustannus muodostuu kokonaisuudessaan aiempia vaihtoehtoja kannattamattommaksi, jääden kuitenkin 13 e/jätettonni negatiiviseksi. Kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapolton kustannukset vastaavat siis sekajätteen polttoa (Sj 3) sillä erotuksella, että noutotyön kustannus puuttuu. Kuitujen, puun ja muovin hyödyntämisketjussa kuljetuskustannusten osuus onkin vain noin 15 % kaikista ketjun kustannuksista.



Kuva 45. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltosta (Kp 3) jätetonna kohti, kun tuotettu lämpöenergia korvaa turpeen poltolla tuotettua sähköä ja lämpöä. Käytetty sekajätteen päästökertoimia ja energiasisältöä. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 46. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotantoon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitu-, puu- ja muovijäte arinapoltetaan (Kp 3) ja tuotettu lämpöenergia korvaa turpeen poltolla tuotettua sähköä ja lämpöä. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Kierrätyspolttoaineen (REF) poltto leijukerroslaitoksessa

Poltto RDF-laatuisten jätteen polttoon suunnitellussa laitoksessa, korvattavina polttoaineina öljy, puu ja kivihiili (Kp 4)

Mekaanisesti käsitelty kuitu-, puu- ja muovijäte soveltuu poltettavaksi myös arinapolttolaitosta herkemmissä ja monimutkaisemmissa polttolaitoksissa. Tällaisissa laitoksissa sähkö/lämpö-rakennussuhde, eli tuotetun sähkön määrä, voi olla suurempi kuin arinalaitoksissa. Mallinnetun RDF-polttolaitosvaihtoehdon massa- ja energiataaseissa alkuperäisestä 1 000 tonnin jäte-erästä saadaan polttoainetta noin 930 t, jonka polttaminen tuottaa energiaa noin 9 500 GJ (Liite 2, Kuva 14). Tuotetusta energiasta noin 30 % on sähköä. Tavanomaisen jätteen kaatopaikalle soveltuva tuhkaa syntyy noin 90 t, ongelmajätetuhkaa puolestaan noin 100 t.

Kierrätyspolttoaineen energiasisällöksi on oletettu sama kuin sekajätteellä, eli noin 14 GJ/tonni, koska se poltetaan samassa RDF-laitoksessa kuin sekajäte ja kierrätyspolttoaineen osuus on sekajättepohjaiseen RDF-materiaaliin verrattuna melko vähäinen. Teollisuusjätteestä valmistettavan kierrätyspolttoaineen saanto on noin 90 %, joten sen tonnikohtainen päästökerroin on suurempi kuin sekajätteestä valmistetulla RDF:llä, noin 460 kg CO₂-ekv./jätetonne.

RDF-polttolaitoksen tuottaman energian oletetaan korvaavan laitoksen vaikutuspiirissä olevien lämpökattiloiden polttoaineita, jotka esimerkkitapauksessa ovat erään teollisuuslaitoksen käyttämää öljyä ja puuta. Sähkön oletetaan korvaavan kivihiililauhdetta.

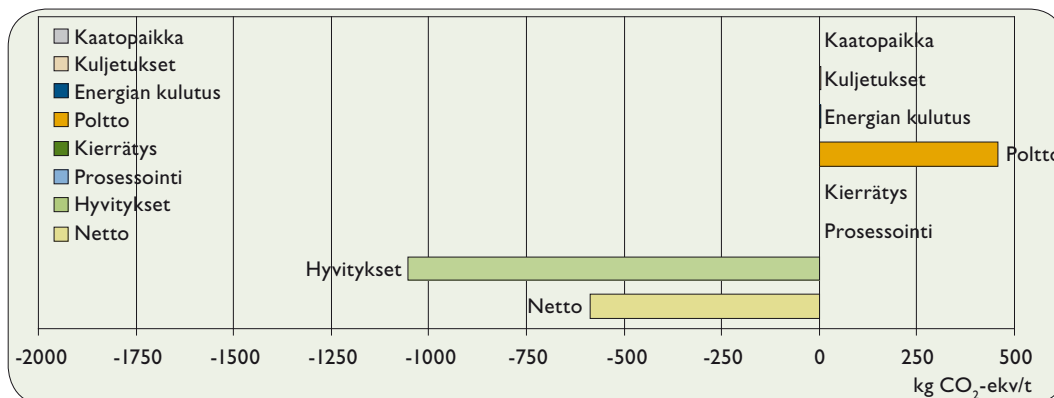
Edellä kuvatuin oletuksin teollisuuden jätteistä valmistetun RDF-kierrätyspolttoaineen hyvityksiksi saadaan noin 1 050 kg CO₂-ekv./jätetonne, ja nettohyödyksi 590 kg CO₂-ekv./jätetonne. Hyvityksistä kolme neljännestä selittyy kivihiililauhteen korvaamisesta syntyvillä säästöillä, ja loput öljyn polton välttämällä (Kuva 47).

Muut kuin ilmastomuutosvaikutukset ovat samat kuin sekajätteen vastaavassa käsittelyssä, eli hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöjen ekotoksisuus (Kuva 15). Rehevytyminen ei sisälly energiajätteen vaikutuksiin, koska mekaanisen lajittelun sivutuotteena ei ole kompostoitavaa rejektia. Hyvitykset ovat edellä (Kp 1-3) esitettyjä energiajätteen ratkaisuja suuremmat johtuen turpeen saamasta suuresta hyvitysosuudesta.

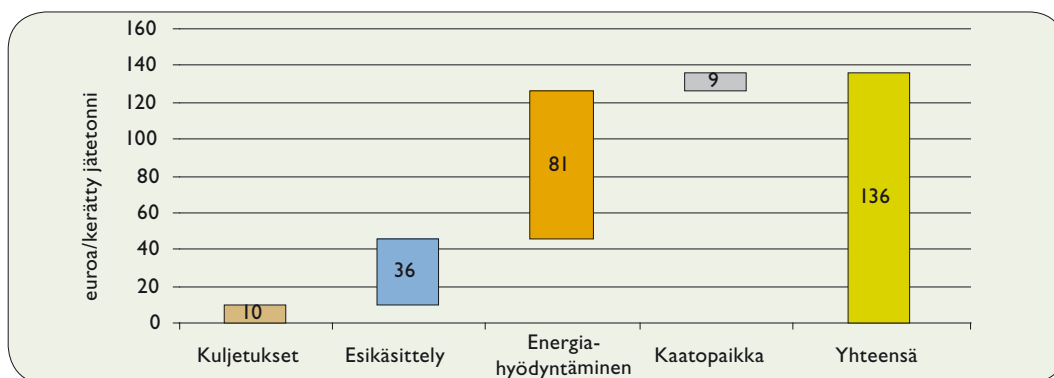
Kuitupakkaus-, puu- ja muovijätteen hyödyntämisketjun yksityistaloudelliset kustannukset jakautuvat kuljetuksiin, mekaaniseen esikäsittelyyn, kierrätyspolttoaineen (REF) polttoon RDF-laitoksessa ja polton tuhkien sekä kierrätyspolttoaineen valmistuksessa syntyneen rejektin loppusijoitukseen (Kuva 48). Kuljetusten osuus kustannuksista on vajaa 10 %, esikäsittelyn noin 25 %, energiahyödyntämisen noin 60 % ja kaatopaikkasijoituksen alle 10 %. Esikäsittelyn yksikkökustannukset perustuvat energijaetta käsittelevään vertailulaitokseen ja ovat noin 35 euroa käsiteltävältä jätetonnilta (Myllymaa ym. 2008). Energiahyödyntäminen on RDF-laitoksessa kalliimpaa (87 e/REF-tonni) kuin pelkistetympään tekniikkaan perustuvassa arinapolttolaitoksessa (59 - 67 e/REF-tonni). Kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna RDF-laitoksen kustannukset ovat kierrätyspolttoaineelle korkeammat kuin sekajätteelle (Sj 5) (Kuva 16), koska polttoainesaaunto kuitu-, puu- ja muovijätteestä on sekajätettä noin 30 prosenttiyksikköä suurempi.

Kierrätyspolttoaineen valmistuksen ja polton kustannusten lisäksi yhteiskunnallisten nettokustannusten syntymiseen vaikuttavat vältetyn tuotannon kustannukset, ympäristöhyvitykset ja ympäristökustannukset: kokonaisuudessaan kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen poltto RDF-kattilassa yhdessä sekajätteen kanssa tuottaa yhteiskunnallisia nettohyötyjä noin 50 e/jätetonnilta (Kuva 49). Tulos perustuu siihen, että korvattavan energiantuotannon vältetyt kustannussäästöt (173 e/jätetonne) ovat noin 30 % suuremmat kuin kuitujen, muovin ja puun hyödyntämisketjun kokonaiskustannukset (136 e/jätetonne). Ympäristövaikutusten rahamääräisen arvon nettovaikutuksen osuus yhteiskunnallisista nettokustannuksista on noin 30 % ja sen määräytymiseen vaikuttavat pääasiallisesti kierrätyspolttoaineen poltossa ja öljyn ja kivihiilen poltossa vältetyt CO₂-ekv. päästöt.

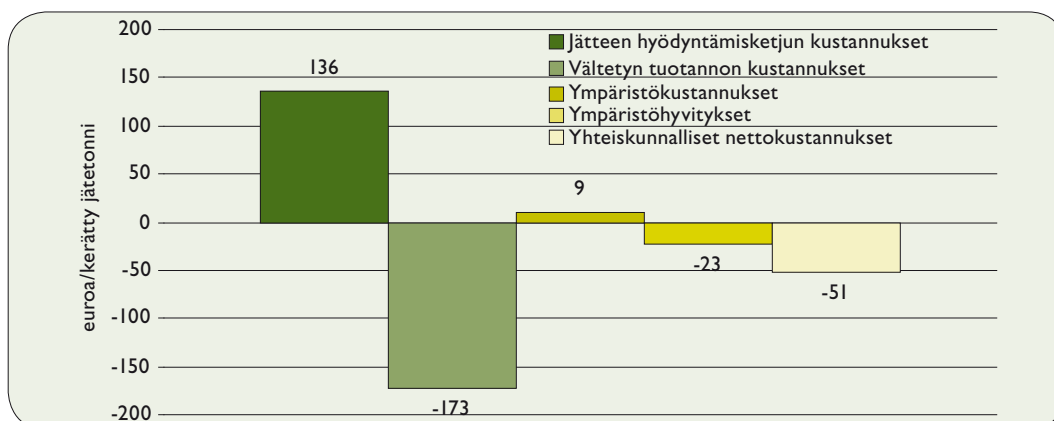
Koska teollisuusjätteestä valmistettavan kierrätyspolttoaineen saanto (90 %) on suurempi kuin sekajätteestä (60 %) valmistettavalla RDF:llä, tarkasteltujen kustannuserien suuruus kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna eroaa sekajätteen polton (Sj 5) tarkastelusta. Yksikkökustannukset kaikissa kustannuserissä ovat poltettavaa jätetonna kohden ilmaistuna kuitenkin yhtäläiset.



Kuva 47. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitu-, puu- ja muovijätteen poltosta RDF:n polttoon suunnitellussa laitoksessa (Kp 4) jätetonna kohti, kun tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiihlauhdetta (Myllymaa ym. 2008). Käytetty sekajätteen päästökertoimia ja energiasisältöä. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina.



Kuva 48. Kuitu-, puu- ja muovijätteen (Kp 4) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 49. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetaan kierrätyspolttoainetta, joka poltetaan sekajätteen seassa RDF-laitoksessa (Kp 4) ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiihlauhdetta. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

3.3.5.2

Poltto REF-laatuisten jätteen polttoon suunnitellussa laitoksessa, korvattavina polttoaineina öljy, puu ja kivihiili (Kp 5)

Mekaanisesti käsitelty kuitu-, puu- ja muovijäte voidaan polttaa myös teollisuusjätteestä valmistetun, hyvälaatuisen kierrätyspolttoaineen eli REF:n polttoon suunnitellussa polttolaitoksessa (Liite 2, Kuva 15). Tällainen laitos voi olla esimerkiksi leijutekniikkaan perustuva laitos (Myllymaa ym. 2008). Vaihtoehdon massa- ja energiata-seessa alkuperäisestä 1000 tonnin erästä jätettä saadaan mekaanisesti käsittelemällä polttoainetta noin 930 t. Tavanomaiselle kaatopaikalle sijoitettavissa olevaa tuhkaa syntyy noin 80 t ja ongelmajätetuhkaa noin 100 t. Saadun jätemäärän polttaminen tuottaa energiaa noin 13300 GJ, josta sähköä on noin 20 %.

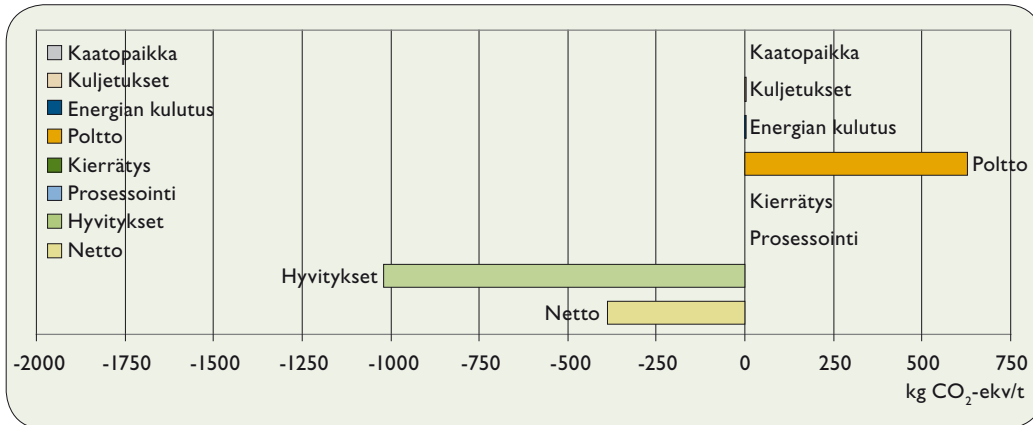
REF-kierrätyspolttoaineen energiasisällöksi on oletettu noin 19 GJ/tonni, koska sen sisältämä muovimäärä on tyypillisesti RDF-polttoainetta suurempi. Siksi myös tonnikohtainen päästökerroin, noin 630 kg CO₂-ekv/jätetonni, on suurempi kuin sekajätteestä valmistetulla RDF:llä.

Jätteenpolttolaitoksen rakennussuhde, eli sähkön ja lämmön osuudet tuotetusta kokonaisenergiasta, vaikuttaa saavutettaviin hyvityksiin, koska sähkön ja lämmön tuotantoprosesseilla voi olla erilaiset päästökertoimet (vrt. Taulukko 1). Tässä tapauksessa rakennussuhteeksi on oletettu 0,24, kun se edellä luvussa 4.2.2.1 tarkastellussa RDF-laitoksessa oli 0,45. Ero johtuu siitä, että mallinnuksen pohjana olevassa REF-laitoksessa ei ole tuorehöyryn jälkitulistinta. Tämä johtaa hieman alhaisempaan rakennussuhteeseen, mutta toisaalta laitoksen investointi- ja käyttökustannuksetkin ovat alhaisemmat. Perusoletuksena kuitenkin yleensä on, että sähköntuotannon hyötysuhde on REF-laitoksilla parempi kuin RDF:ää polttavilla jätevoimaloilla. (Myllymaa ym. 2008).

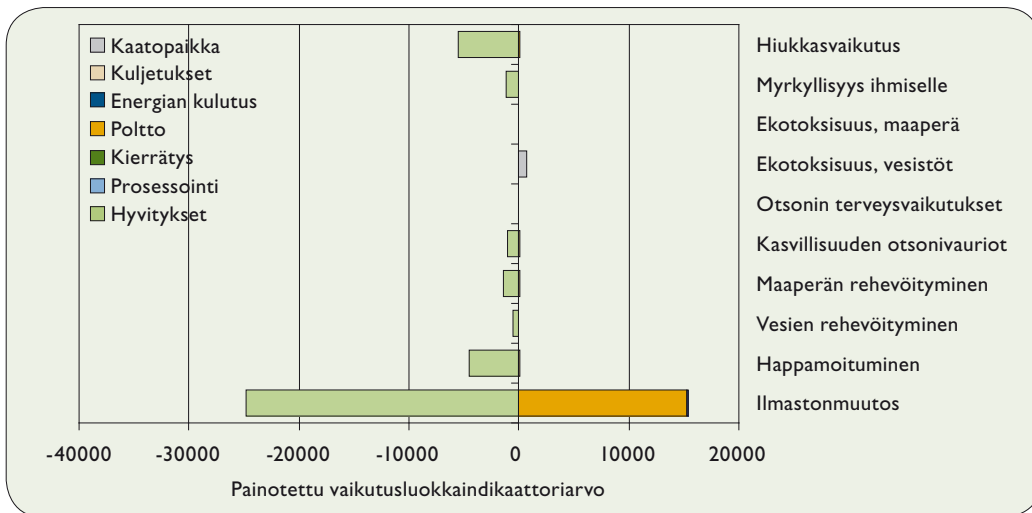
Edellä mainituilla oletuksilla teollisuuden jätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen hyvityksiksi saadaan noin 1 020 kg CO₂-ekv /jätetonni, ja nettohyödyksi 390 kg CO₂-ekv /jätetonni (Kuva 50). Hyvityksistä noin 70 % on peräisin kivihiilen ja loput öljyn käytön välttämiseksi.

Energiajätteen hyödyntämisen merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset ovat ilmastonmuutos ja vesistöjen ekotoksisuus (Kuva 51). Hyvitysten tuomat hyödyt näkyvät ilmastonmuutoksen lisäksi hiukkasvaikutuksissa ja happamoitumisessa, kun vältetään öljyn ja kivihiilen käyttöä.

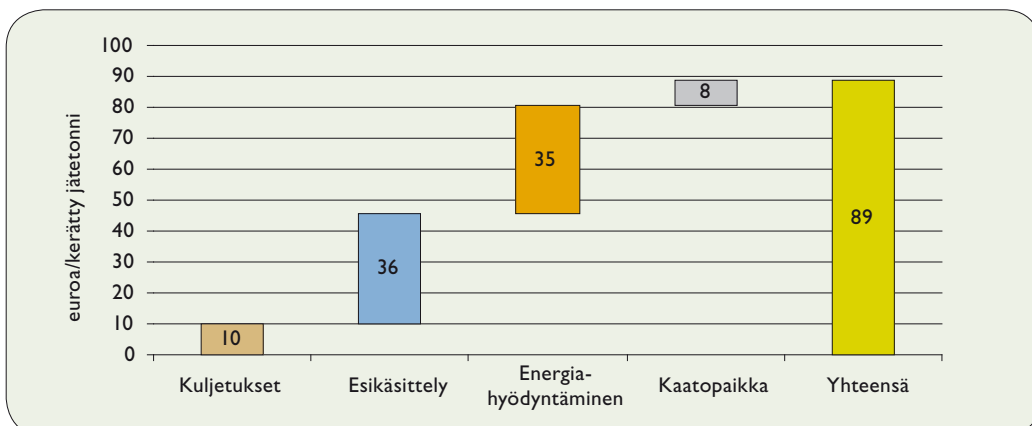
Kustannustarkastelussa vertailulaitoksena käytetyn REF-polttolaitoksen alhaisempi rakennussuhde merkitsee alhaisempia investointi- ja käyttökustannuksia. Polton kustannus on noin 38 e/REF-tonni (Myllymaa ym. 2008), mikä tarkoittaa noin 35 euron kustannuksia kerättyä jätetonnia kohden ilmaistuna (Kuva 52), kun huomioidaan, että REF:n saanto kerätystä kuitu-, puu- ja muovijätteestä on noin 90 %. Muilta osin hyödyntämisketjun yksityistaloudelliset kustannukset noudattavat edellä tarkasteltua kierrätyspolttoaineen energiahyödyntämistä RDF-tekniikkaan perustuvassa leijukerroslaitoksessa (Kp 4) (Kuva 48). Kokonaiskustannus kuitu-, puu- ja muovijakeiden kuljetuksista, esikäsittelystä ja kierrätyspolttoaineen poltosta REF-kattilassa on 89 e/kerätty jätetonni (Kuva 52).



Kuva 50. CO₂-ekv-päästöt (kg) kuitu-, puu- ja muovijätteen (Kp 5) poltosta RDF:n polttoon suunnitellussa laitoksessa jätetonna kohti, kun tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiihilauhdetta (Myllymaa ym. 2008). Käytetty sekajätteen päästökertoimia ja energiasisältöä. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät päästöt (hyvitykset) negatiivisina. Huom., kaavion suurin arvo on vastaavista kuvista poiketen 750 kg CO₂-ekv/t.



Kuva 51. Merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset, kun kuituista, puusta ja muovista valmistettu energiajäte (Kp 5) poltetaan hyvälaatuisen polttoaineen polttoon suunnitellussa REF-laitoksessa. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.

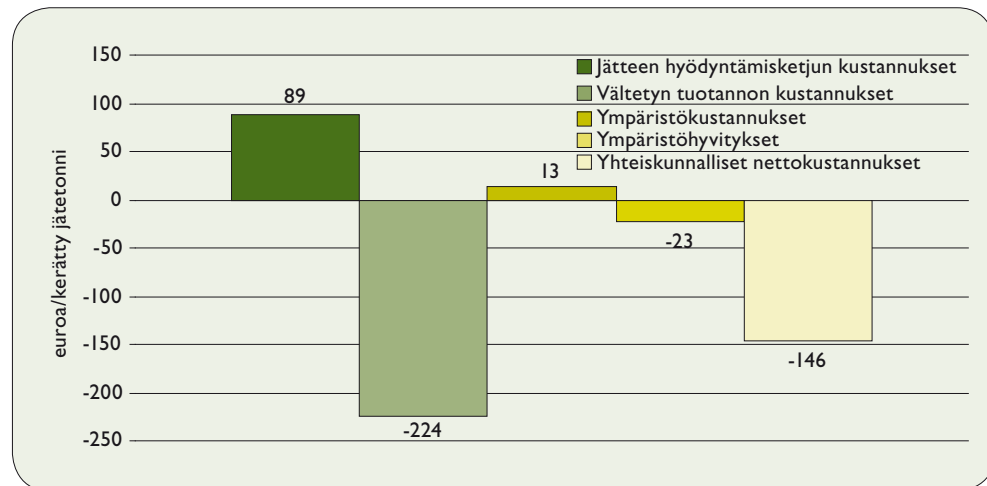


Kuva 52. Kuitu-, puu- ja muovijätteen (Kp 5) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsitteily- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Kierrätyspolttoaineen polton REF-kattilassa oletetaan korvaavan sähköntuotantoa kivihiilestä ja erillistä lämmöntuotantoa öljystä ja puusta, jolloin energiantuotannon vältetyiksi kustannuksiksi muodostuu noin 224 e/kerätty jätetonne (Kuva 53). Vältetyt kustannukset ovat tässä yhteydessä suuremmat kuin edellä tarkastellussa kierrätyspolttoaineen RDF-poltossa (Kp 4), koska REF-polttolaitos tuottaa poltettua kierrätyspolttoainetonna kohden noin 40 % enemmän hyödynnettävää energiaa kuin RDF-laitos. Tällöin korvattavan energiantuotannon määräkin on suurempi kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

REF-polttoaineen paremmasta energiasisällöstä syntyvät suuremmat tonnikoh-
taiset päästöt aiheuttavat myös suuremmat ympäristökustannukset (13 e/jätetonne) (Kuva 53) kuin RDF:n poltto (Kuva 49). Ilmastonmuutosvaikutuksen aiheuttamat kustannukset kattavat kaikista ympäristökustannuksista 99 %. CO₂-päästöjen osuus hyvityksistä on jälleen noin 90 % suuruusluokkaa.

Hyödyntämisketjun kustannukset, korvatuksen kustannussäästöt, ympäristökustannukset ja ympäristöhyvitykset kertovat yhteenlaskettuna yhteiskunnalle koituvan nettokustannusvaikutuksen. Poltettaessa kuituista, puusta ja muovista valmistettua kierrätyspolttoainetta REF-kattilassa nettokustannusvaikutus on reilusti negatiivinen eli noin 145 e/t hyötyjen puolella.



Kuva 53. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuksen vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistettua kierrätyspolttoainetta poltetaan hyvälaatuisen polttoaineen polttoon suunnitellussa REF-laitoksessa (Kp 5) ja tuotettu lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiililauhdetta. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Kuitu-, puu- ja muovijätteen käsittelyketjujen yhteenveto ja vertailu

Tutkimuksessa vertailtiin kolmea vaihtoehtoista tapaa käsitellä kuidut, puu ja muovijäte: kierrättämällä ne raaka-aineena, polttamalla arinalaitoksessa ja työstämällä ne kierrätyspolttoaineeksi. Lisäksi varioitiin hyvitettäviä polttoaineratkaisuja, jolloin tarkasteltavaksi jäi kullekin jätelajille seitsemän vaihtoehtoa (Liite 2, kuvat 8 – 15). Materiaalivaihtoehdoissa kukin materiaali kiertää puhtaana, eli muovi muovina, kuidut kuituna, ja puu puuna, mutta arinapoltto- ja rinnakkaispolttoratkaisuissa laskelmat on tehty keskimääräistä hyvälaatuista polttoainetta kuvaavilla tunnusluvuilla (Myllymaa ym. 2008). Kuitu-, puu- ja muovijätteen käsittelyketjujen tarkastelut on sekajätteen tavoin sidottu alueellisesti mitoitettuihin laitospaikkoihin ja kuljetusväylyksiin. Alueellisten erityistekijöiden ja oletusten vaikutus todettiin pieneksi lopputulosten kannalta, mutta aluesidonaisuudet on kuitenkin hyvä pitää mielessä ympäristö- ja kustannustarkastelun lopputuloksia vertailtaessa.

3.3.6.1

Hyödyntämismuutoksissa syntyvät CO₂-ekv-päästöt

Teollisuuden tuottamista, yhdyskuntajätteeseen laskettavista jätteistä tarkasteltiin kuitupakkausjätteille, puujätteelle ja muovijätteelle soveltuvia käsittelyketjuja. Kierrätyspainotteisia ketjuja on yksi kullekin jätelajille ja polttovaihtoehtoja viisi (Kuva 54).

Kolmessa jätelajikohtaisessa kierrätysvaihtoehdossa jätelajien materiaalihyödyntämisen vaikutuksia järjestelmiin arvioitiin mahdollisimman realistisesti. Kierrätyksen ja polton vaikutusten vertailua heikentää se, että energijätteiden polttamisessa arinalaitoksessa on käytetty samaa energiasisältöä ja päästökerrointa kuin niiden kanssa yhtä aikaa poltettavalle sekajätteelle, koska energijätteiden määrät ovat melko vähäisiä verrattuna sekajättemääriin. Virhe ei kuitenkaan ole suuri, koska energiasisällön kasvattaminen nostaisi myös tonnikohtaista päästökerrointa, ja suurin merkitys on joka tapauksissa korvattavaan energiaan liittyvillä oletuksilla.

3.3.6.2

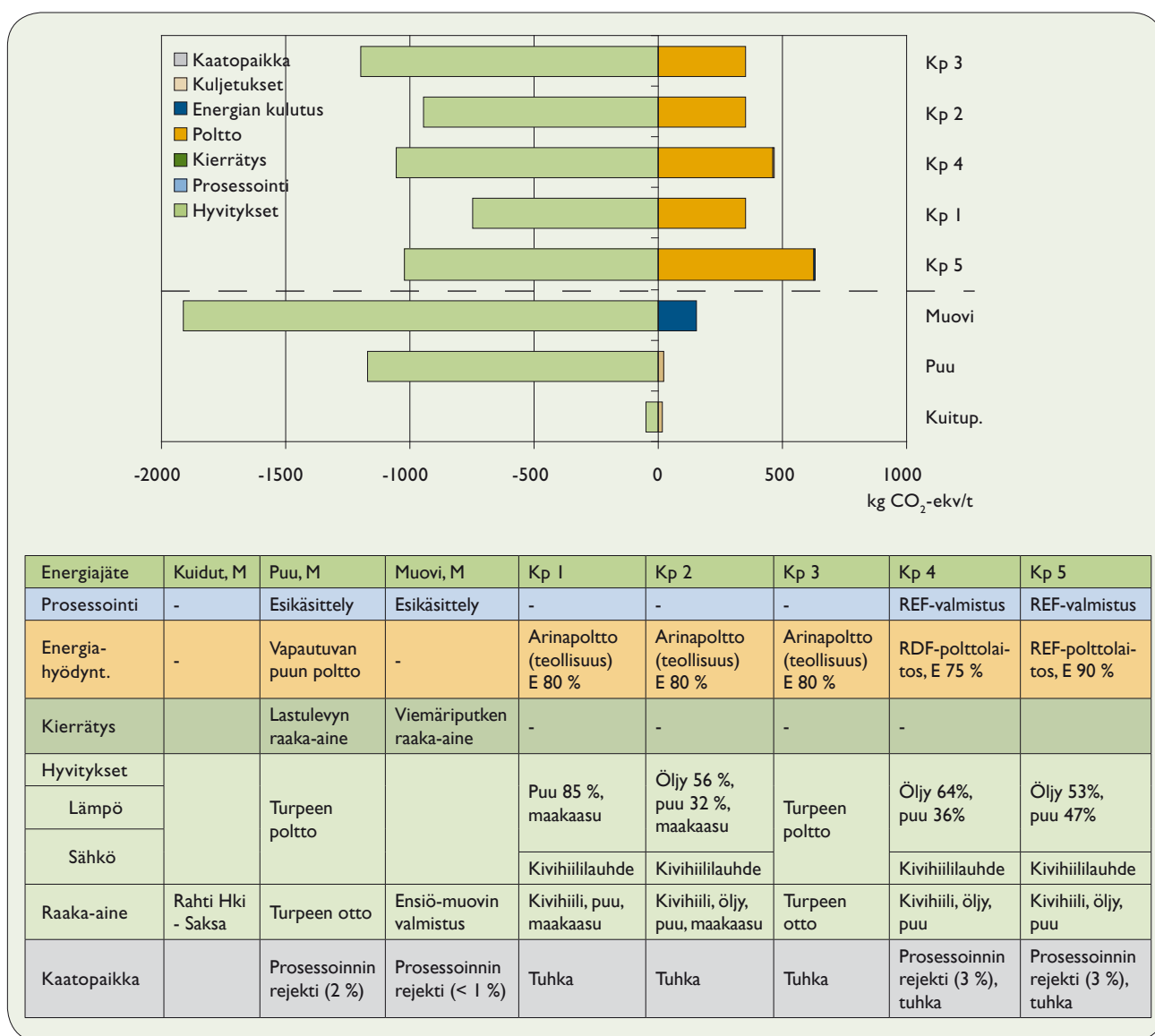
Hyödyntämismuutosten vältetyt päästöt

Kuitupakkausten kierrätysvaihtoehdon tarkastelu osoittaa, että pelkkää kuljetusta välttämällä ei saavuteta merkittäviä säästöjä, jos niitä verrataan muiden jätelajien hyödyntämismuutosten säästöpotentiaaliin. Puulle materiaalihyödyntämismuutoksissa määritelty hyötynä on tosiasiaa energiahyödyntämistä, koska siinä oletetaan lastulevyn valmistukseen aiemmin käytetyn hakkeen vapautuvan poltettavaksi. Sama ketju saataisiin, jos jätepuu olisi toimitettu suoraan polttoon. Puun polton erinomaisuus CO₂-päästöjen kannalta perustuu siihen, että sen poltossa vapautuvat CO₂-päästöt lasketaan bioperäisiksi, jolloin säästöistä vähennettävää polton kuormitusta ei ole. Jos puun voidaan lisäksi olettaa korvaavan turvetta, saadaan suurimmat mahdolliset hyödyt.

Vaihtoehtoisissa Kp 1 - 5 kuidut, puu ja muovit on hyödynnetty energiana erilaisin menetelmin (Kuva 54). Jätelajikohtaiset päästöt selittyvät monilta osin samoin perustein kuin sekajätteiden käsittelyketjuja käsittelevässä kuvassa 26. Suurimmat CO₂-säästöt saadaan kuitu-, puu- ja muovijätteellekin, kun poltetaan koko massa mahdollisimman suurella hyötysuhteella ja turvetta korvaten. Vaihtoehdot Kp 4 ja Kp 5 poikkeavat sekajätteen leijukerrospoltoista (Sj 5), koska energijätteen saanto (90 %, Kp 4) alkuperäistä energijätetonnin kohti on suurempi. Samalla tuotetaan – ja korvataan – suurempi määrä energiaa.

REF-laitoksessa poltettu energijäte (Kp 4) saa tuloksissa suuremmat CO₂-päästöt ja pienemmät hyötynä kuin RDF-laitoksessa poltettu energijäte (Kp 5). Suurempi päästö johtuu oletetusta suuremmasta energiasisällöstä: RDF-jakeen energiasisältö on noin 14 MJ/t kun REF:n lähes 19 MJ/t, ja käytetty CO₂-päästökerroin (31,8 kg/MJ) on sama molemmissa.

REF-laitosratkaisun pienempi hyvitys on seurausta erilaisesta energian hyvitysprofiilista: vaikka REF-laitoksen hyötysuhde onkin 90 % ja RDF-laitoksen 75 % (Myllymaa ym. 2008), ratkaiseva tekijä on tuotetun energian jakautuminen sähköksi ja lämmöksi. Jälkitulistimella varustetun RDF-laitoksen tuottamasta energiasta 33 % on sähköä (rakennussuhde 0,45), kun määrä REF-laitoksessa on 21 % (rakennussuhde 0,24). Koska sähköhyvitykseksi on oletettu kivihiili, jonka CO₂-päästökerroin on energian tuotantomuodoista suurin, jää REF-laitosvaihtoehto vertailussa huonommaksi. Käytännössä REF-laitos voidaan kuitenkin varustaa tarpeen mukaan jälkitulistimella tai kytkeä jonkin muun kattilan yhteyteen yhdennettyn kierron alle sähköntuotannon hyötysuhteen parantamiseksi.



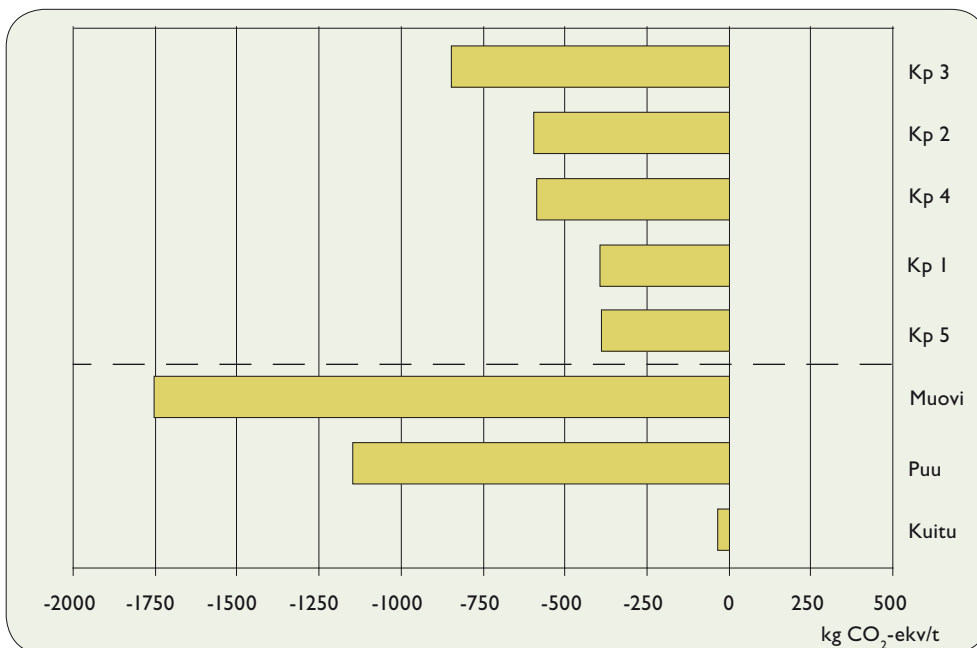
Kuva 54. Kuitu-, puu- ja muovijätteen eri hyödyntämismuotojen CO₂-ekv-päästöt (kg) ilmoitettuna yhtä jätetonnia kohti. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja jätteenpoltolla korvattavan energiantuotannon päästöjen säästöt negatiivisina. Sarjat on järjestetty nettotuloksen mukaiseen paremmuusjärjestykseen siten, että suurimmat vältetyt päästöt ovat ylimpänä.

Jos vertaillaan keskenään kaikkia puulle, kuiduille ja muoville mallinnettuja vaihtoehtoja, suurimmat kasvihuonekaasupäästöjen nettosäästöt saadaan muovijätteellä, kun kierrätysmuovilla korvataan ensiömuovia (Kuva 55). Tosin tarkoitukseen laadullisesti sopivaa muovia ei ole käytettävissä kovin suuria määriä ja ne tulevat lähinnä teollisuudesta.

Polttoratkaisuista suurimmat hyödyt saadaan, jos jätteellä tuotettu energia korvaa kivihiililauhteella tuotettua sähköä. Seuraavaksi hyödyllisin vaihtoehto on korvata turpeen polttoa ja siten, että korvatun laitoksen rakennussuhde ei ole ainakaan pienempi kuin jätteenpolttolaitoksen. Toisaalta on hyvin epätodennäköistä, että voimalaitosten ajojärjestyksiä käytännössä ohjailtaisiin siten, että hyvällä hyötysuhteella ja pienellä rakennussuhteella toimivien laitosten toimintaa rajoitettaisiin jätteiden polton hyväksi. Turpeen jälkeen eniten säästöjä kasvihuonekaasupäästöissä tuottaa öljyn, ja sen jälkeen maakaasun korvaaminen jäteperäisellä energialla.

Korvattavan polttoaineen jälkeen tärkein tekijä on jätteitä polttavien laitosten energian saanto, eli se osuus polttoaineiden sisältämästä energiasta joka todella käytännössä päätyy hyötykäyttöön. Energiatekniikassa laitoksen kokonaishyötysuhteella tarkoitetaan tuotetun energian mitoitettua kokonaismäärää suhteessa polttoaineen energiasisältöön. Käytännössä tuotetun energian määrä voi kuitenkin jäädä paljon vähäisemmäksi, koska kattiloita saatetaan käyttää pitkiäkin aikoja muulla kuin mitoitushyötysuhteella, esim. vähäisen lämmöntarpeen ja siitä seuraavan lauhdutustarpeen vuoksi. Siksi hankkeessa kokonaishyötysuhdetta ei sellaisenaan pidetty soveltuvana kuvaamaan energialaitoksen järjestelmälle tuottamaa todellista energiamäärää.

Energian saannon ohella myös jätteiden polttoon suunnitellun laitoksen rakennussuhteella on saavutettavien hyötyjen kannalta suuri merkitys. Rakennussuhde ratkaisee ensinnäkin, minkä tyyppisen laitoksen toimintaa voidaan ylipäätään olettaa korvattavan. Tosin näyttäisi siltä, että uudenaikaisten arinalaitosten hyötysuhteet ja rakennussuhteet ovat täysin kilpailukykyisiä muiden laitospolttokäytöiden kanssa. RDF:n tai REF:n polttoon suunniteltujen laitosten suunnitelmissa oli käytetty jopa arinalaitosta huonompia lähtöoletuksia.



Kuva 55. Kuitu-, puu- ja muovijätteen eri käsittelyketjujen CO₂-ekv-nettopäästöt (kg) ilmoitettuna yhtä jätetonna kohti.

3.3.6.3

Muut ympäristövaikutukset

Ilmastonmuutosvaikutuksen lisäksi energijätteen käsittelyn potentiaalisia ympäristövaikutuksia ovat hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöjen ekotoksisuus, vastaavasti kuin sekajätteellä. Typen ja rikin oksidien päästöihin liittyvä hiukkasvaikutus voi aiheuttaa terveyshaittoja ja laskea eliniänodotetta. Ympäristön happamoituminen liittyy sekä typen ja rikin oksidien laskeumaan ja voi puolestaan aiheuttaa metallien liukenemistä maaperästä, heikentää kasvien kasvua ja muuttaa alkuperäistä kasvillisuutta happamuutta paremmin sietäviin lajeihin. Vesistöjen ekotoksisuutta voivat aiheuttaa kaatopaikalle sijoitetun tuhkan kupari- ja sinkkipäästöt.

Puun polton ympäristövaikutukset tilanteessa, jossa korvataan turpeen polttoa, ovat lähinnä turpeen käytön välttämisen kautta saatavia hyötyjä hiukkasvaikutuksissa ja happamoitumisessa. Kuitujätteen materiaalihyödyntämisellä vältettävän rahdin aiheuttamat vaikutukset, mutta samalla myös hyödyt, jäävät huomattavasti muiden jätelajien käsittelyvaihtoehtoja pienemmiksi. Muovin kierrätys kuluttaa energiaa, mikä puolestaan tuottaa happamoitumista ja hiukkasvaikutuksia aiheuttavia typen ja rikin oksideja. Nämä vaikutukset kuitenkin kumoutuvat moninkertaisina ensiömuovin tuotannon välttämällä saavutetuilla hyödyillä. Suurimmat säästöt liittyvät ilmastonmuutoksen jälkeen hiukkasiin, happamoitumiseen ja kasvillisuuden otsonivaurioihin.

3.3.6.4

Kustannukset

Kuitupakkaus- ja puujätteen kierrättäminen uusiokäytettäväksi raaka-aineeksi synnyttää vähänlaisesti kustannuksia: kuitupakkausten osalta on tarpeen tarkastella vain kuljetuskustannuksia ja puujätteenkin mekaaninen puhdistus on verrattain halpaa. Muovijätteen materiaalihyödyntämisen prosessikustannukset ovat puolestaan omassa suuruusluokassaan muihin kustannuksiin verrattuna. Kunkin jätelajin kierrättäminen uusiotuotteiden raaka-aineeksi tuottaa kuitenkin yhteiskunnassa nettohyötyjä, koska korvattavista toiminnoista saadaan monin verroin suuremmat kustannussäästöt kuin mitä jätelajien prosessointi uusioraaka-aineeksi aiheuttaa (Kuva 56). Jätteen prosessoinnin kustannuksiin suhteutettuna suurimmat hyödyt, noin kymmenkertaiset, on puulla, mutta nettomääräisesti eniten hyötyjä tuottaa ensiömuovin korvaaminen uusiomuovilla. Puun suuret hyödyt selittyvät sillä, että puujätteelle järjestelmämallinnuksessa käytetty hyvitys oletus tuottaa taloudellisessa tarkastelussa kustannussäästöjä kahdessa vaiheessa. Jos puulle oletettu energiahöydyntäminen jätettäisiin pois tarkastelusta, puun hyödyntämisen tuottama nettohyöty supistuisi reilut 80 %, mikä osoittaa, että varsinaisen materiaalihyödyntämisen tuottamien kustannussäästöjen osuus puujätteen järjestelmätarkastelussa on pieni. Kuitupakkausjätteen hyödyntäminen raaka-aineena hylsykartongin valmistuksessa tuottaa materiaalihyödyntämisen vaihtoehtoista vähäisemmät nettohyödyt. Tämä perustuu siihen, että tarkasteltavalle järjestelmälle oli vaikea löytää muuta korvaavuutta, kuin saman raaka-aineen tuonnin välttäminen. Pelkkiä tuontikustannuksia välttämällä ei siis saavuteta merkittäviä nettohyötyjä.

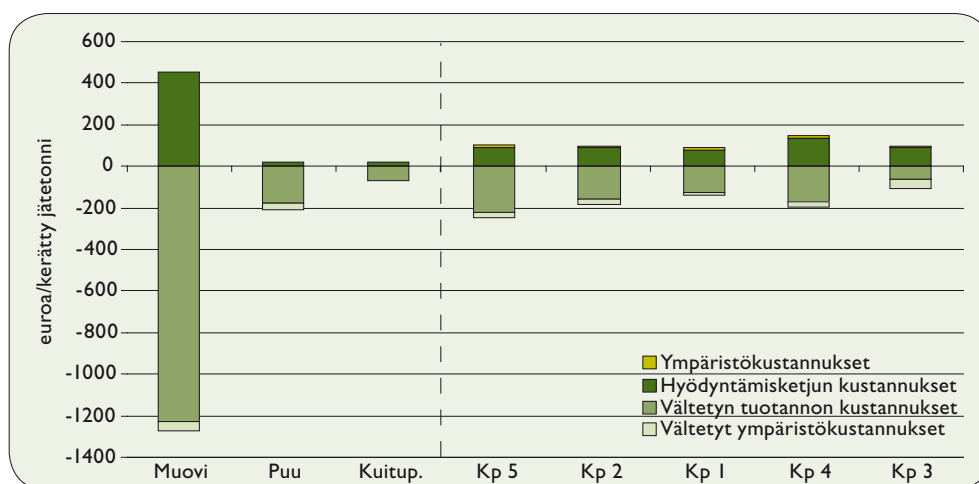
Kuitupakkausten, puun ja muovin arinapolton (Kp 1-3) kustannustarkastelu noudattaa näiden jätelajien kanssa samassa kattilassa poltettavan sekajätteen järjestelmätarkasteluja (Sj 1-3). Jätelajikohtaiset kustannukset ja kustannussäästöt selittyvät siten samoin perustein kuin sekajätteen vaihtoehtoja tarkasteltaessa (luku 3.2.6) kuitenkin sillä erotuksella, että sekajätteen osalta tarkastelussa on huomioitu noutokuljetuksen vaikutukset, kun taas pääosin teollisessa toiminnassa syntyville jätelajeille noudon vaikutusta ei ole koettu tarpeelliseksi tarkastella.

Ero sekajätteen tarkasteluihin nähden syntyy vaihtoehdossa Kp 4. Kun kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetaan kierrätyspolttoainetta (REF), eroavat polton kustannukset samassa kattilassa poltettuun, sekajätteestä valmistettuun RDF-polttoaineeseen (Sj 5) nähden, koska kierrätyspolttoaineen saanto on 30 prosenttiyksikköä suurempi kuin sekajätteellä. Kerättyä jätetonnin kohden ilmaistuna polton kustannukset ovat siten teollisuuden toiminoissa syntyvillä jätelajeilla suuremmat kuin sekajätteellä. Myös esikäsitteystä syntyvän

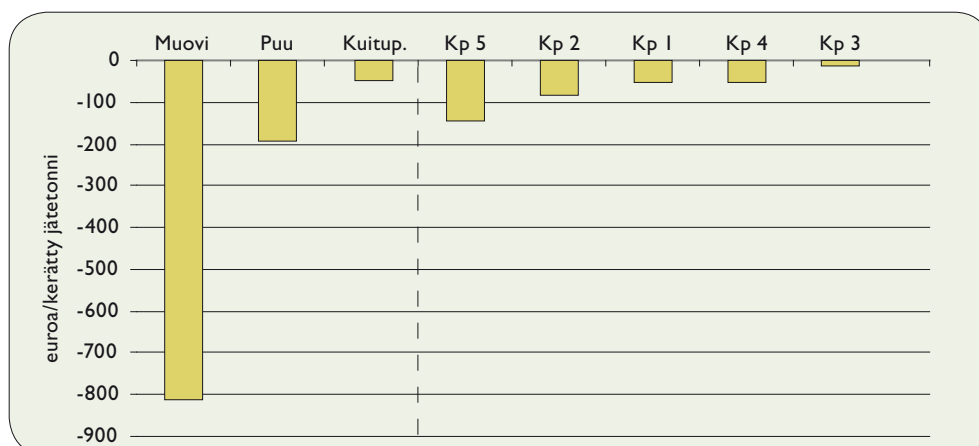
rejektin osuus on luonnollisesti pienempi, mikä alentaa kaatopaikkasijoituksesta syntyvien kustannusten osuutta sekajätteen järjestelmävaihtoehtoon Sj 5 nähden.

Sekajätteen kanssa samassa kattilassa kierrätyspolttoainetta polttavien järjestelmien lisäksi on tarkasteltu vaihtoehtoa, josta kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine poltetaan hyvälaatuisen jättopolttoaineen polttoa varten suunnitellussa REF-kattilassa (Kp 5). Koska vertailulaitoksena on käytetty laitosta, jossa ei ole tuorehöyryn jälkitulistinta, laitoksen pääoma- ja käyttökustannukset ovat siten alhaisemmat ja koko vaihtoehdon käsittelykustannukset noin 35 % alhaisemmat kuin kierrätyspolttoainetta RDF-kattilassa poltettaessa (Kp 4). Vaihtoehdosta syntyvät myös noin 30 % suuremmat vältetyt kustannukset REF-laitoksen paremman hyötysuhteen seurauksena (Kuva 56). Kaiken kaikkiaan kierrätyspolttoaineen hyödyntäminen REF-kattilassa on nettohyödyiltään yli 60 % RDF-kattilassa polttamista kannattavampaa (Kuva 57).

Ilmastonmuutoksen kannalta kaksi parasta vaihtoehtoa, muovin materiaalihyödyntäminen ja puun hyödyntäminen lastulevyn raaka-aineeksi ja vapautuvan puun poltto, sekä ovat myös kustannusvaikutuksiltaan edullisimmat vaihtoehdot, (Kuva 57). Kolmanneksi kannattavinta on polttaa kierrätyspolttoaine hyvällä hyötysuhteella toimivassa REF-kattilassa (Kp 5). Arinapolttoratkaisujen (Kp 1-3) tuottamien nettokustannusten keskinäinen järjestys noudattaa samaa järjestystä kuin sekajätteen arinapolttajärjestelmät Sj 1-3 (Kuva 29). Myös kierrätyspolttoaineen polttaminen RDF-kattilassa sijoittuu arinapolttovaihtoehtoihin nähden samoin kuin sekajätteestä valmistetun RDF:n poltto (Sj5). Kuitupakkausten hyödyntäminen hylsykartongin raaka-aineeksi tuottaa lähes yhtä suuret nettohyödyt polttovaihtoehtojen Kp 1 ja Kp 4 kanssa. Vähäisimmät nettohyödyt saadaan silloin, kun kuitu-, puu- ja muovijäte poltetaan arinalaitoksessa ja korvattavana energiantuotantona on turpeen polttoon perustuva yhteistuotantolaitos (Kp 3).



Kuva 56. Kuitu-, puu- ja muovijätteen hyödyntämisvaihtoehtojen kokonaiskustannukset ja vältetyt kokonaiskustannukset jätetonnaa kohti. Vasemmalla alhaisimmat nettokustannukset (suurimmat nettohyödyt) saanut ja oikealla suurimmat nettokustannukset saanut vaihtoehto.



Kuva 57. Kuitu-, puu- ja muovijätteen eri käsittelyketjujen yhteiskunnalliset nettokustannukset kerättyä sekajätetonnaa kohden ilmoitettuna.

Biojäte

3.4.1

Kompostointi ja hyödyntäminen viherrakentamisessa (Bj I)

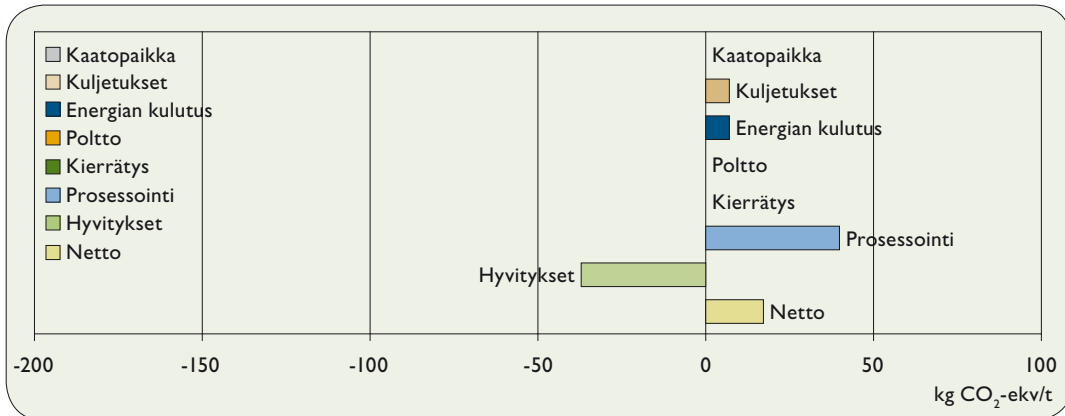
Kompostoidun biojätteen tavanomaisin hyödyntämistapa on sen käyttö kasvualustana, joko yksityisissä pihoiissa tai julkisissa kohteissa. Julkisia viherrakentamisen kohteita ovat mm. puistot, nurmialueet, tienpientareiden viherkaistat, meluvallit ja golf-kentät. Lisäksi kaatopaikoilla tehdään vihermaisemointia. Viherrakentamisen kasvualustana käytetyssä aineksessa on mukana kivennäismaata tai orgaanista ainesta, joka voi olla turvetta tai kompostia (Myllymaa ym. 2008). Kompostoidun biojätteen voidaankin olettaa korvaavan turvetta (Liite 2, Kuva 16). Kompostoinnin jälkeen 1000 biojätetonnista jää käytettäväksi viherrakentamisessa noin 380 t (Myllymaa ym. 2008).

Laitoskompostoidun biojätteen käsittelyketjun päästöt ovat melko vähäiset verrattuna polttoa sisältävien jätelajien käsittelyketjuihin. Kompostoinnissa syntyvät metaanipäästöt (noin 1 kg/t biojätettä, Myllymaa ym. 2008) ovat syytä siihen, että prosessin osuus on tuotetuista CO₂-ekv-päästöistä noin kolme neljännestä. Turpeen käytön välttämällä saavutettava hyvitys on noin 37 kg CO₂-ekv/biojätetonne, joten nettotase jää päästöjen puolelle noin 17 kg CO₂-ekv/biojätetonne. Toisaalta biojätteen kuljetuksen päästöt erottuvat selvästi: biojätteiden kuljetusten osuus jätetekijun CO₂-päästöistä on noin 15 %, josta noudon osuus on noin 10 %-yksikköä (Kuva 58, Myllymaa ym. 2008). Noutovaiheella on siis kuljetuksissa hyvin merkittävä rooli. Lopputuotteen kuljetuksen osuus kuljetusten kokonais-CO₂-päästöistä on 40 km:n kuljetusetäisyydellä alle 2 %, joten lopputuotteen vieminen hyötykäyttöön vaikka kauaskin syntypisteestä ei vielä merkittävästi rasita kokonaisketjua kasvihuonekaasupäästöjen kannalta.

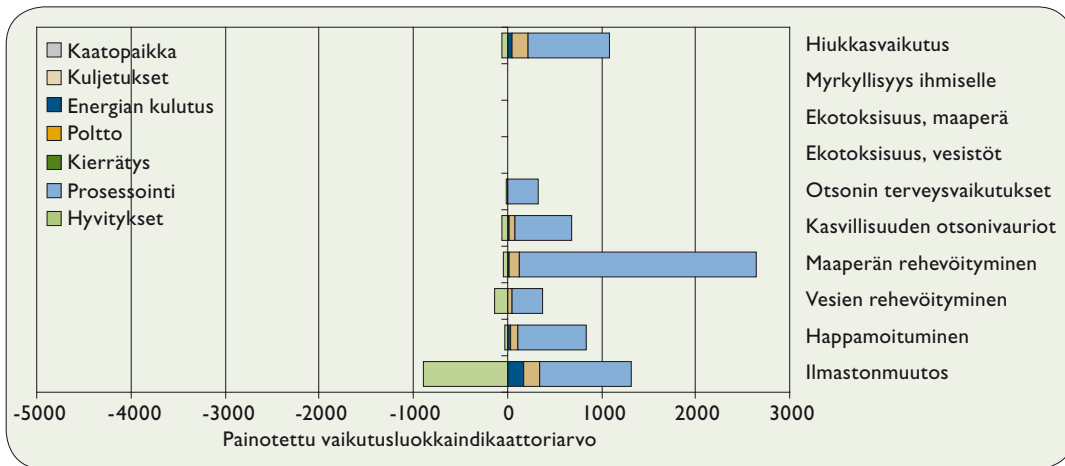
Biojätteen kompostoinnin suurimmat ympäristövaikutukset liittyvät kompostoinnin ammoniakki-, metaani- ja typpioksiduulipäästöihin: ilmaan vapautuva ammoniakki voi aiheuttaa rehevöitymistä, metaani ja typpioksiduuli puolestaan ilmastonmuutokseen johtavia vaikutuksia (Kuva 59). Ammoniakilla on myös hiukkasvaikutusta ja happamoitumista kiihdyttävää ominaisuuksia. Kompostoidun materiaalin viherrakennuskäyttö tuo ilmastonmuutokseen liittyviä säästöjä, koska turpeen oton välttämällä vältetään fossiilisia hiilidioksidipäästöjä.

Biojätteiden materiaalihyödyntämisen positiivisista vaikutuksista on viime aikoina voimakkaasti nostettu etenkin Keski-Euroopassa esille humusaineksen ja kosteuden palauttaminen ekologiseen kiertoon. Kompostoinnin ja kompostoidun massan positiivisiin ominaisuuksiin voidaan lukea myös sen kyky muodostaa vettä läpi päästävä, mutta samalla eroosiota estävä kerros hyvinkin kalteville pinnoille (Mäntylä 2006). Näitä vaikutuksia ei voida verrata rinnakkain muihin ympäristövaikutuksiin, koska niille ei ole määriteltyinä vaikutuskertoimia. Toisaalta, Suomessa maaperän hedelmällisyys ja kosteustasapaino eivät vielä toistaiseksi ole ongelmallisella tasolla, joten näiden vaikutusluokkien painokerroin tuskin olisi merkittävä. Paikallisesti asialla tosin voi olla enemmän merkitystä.

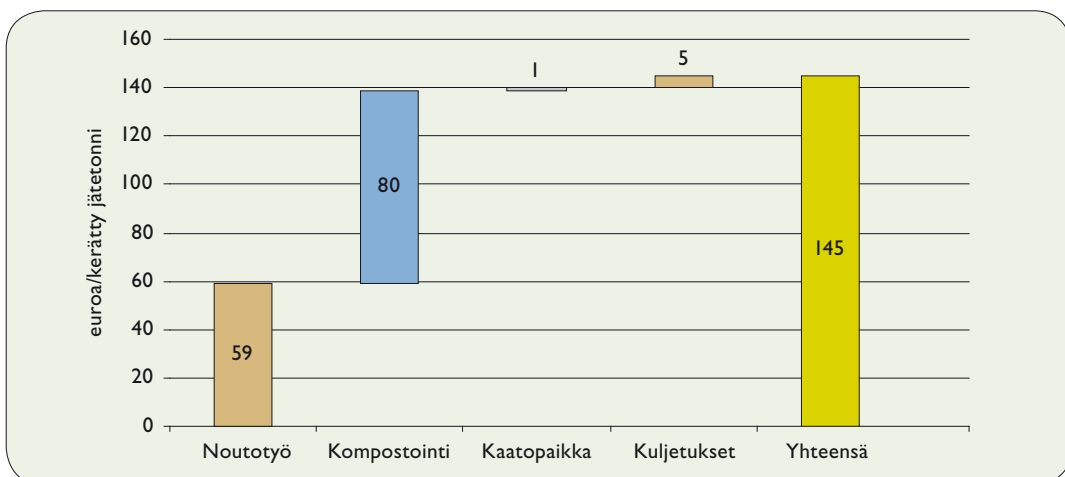
Laitoskompostoidun biojätteen hyödyntämisketjun kustannukset ovat yhteensä 145 euroa kerätyltä jätetonnilta (Kuva 60). Käytetyillä lähtötiedoilla kompostoinnin yksikkökustannus kompostoitavaa tonnia kohden, sisältäen jälkikypsytyksen kustannuksen, (yht. n. 80 e/t) on samassa suuruusluokassa polttolaitosten yksikkökustannusten (vrt. 3.2.3) kanssa (Myllymaa ym. 2008). Vertailulaitoksena on käytetty modernia kompostointilaitosta, jossa käytetään uutta tekniikkaa ja näin ollen kustannukset ovat perinteisiä laitoksia suuremmat. Erilliskerätyn biojätteen noutotyön kustannuksen (59 e/t) osalta on käytetty esimerkkinä pääkaupunkiseutua ja samaa lähtötietoa kuin sekajätteen noutotyölle. Kokonaisuudessaan noutotyön ja kasvualustanvalmistukseen kuljetettavan valmiin kompostin kuljetuksen kustannukset muodostavat noin 45 % hyödyntämisketjun kustannuksista, loput 55 % syntyvät biojätteen kompostoinnista ja prosessissa erottuvan biohajoamattoman mädäteyläjämän loppusijoituksesta.



Kuva 58. CO₂-ekv-päästöt (kg) biojätetonna kohti, kun biojäte (Bj I) kompostoidaan ja käytetään viherrakentamisessa kasvualueena turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja jätteenpoltolla korvattavan energiantuotannon päästöjen säästöt negatiivisina.



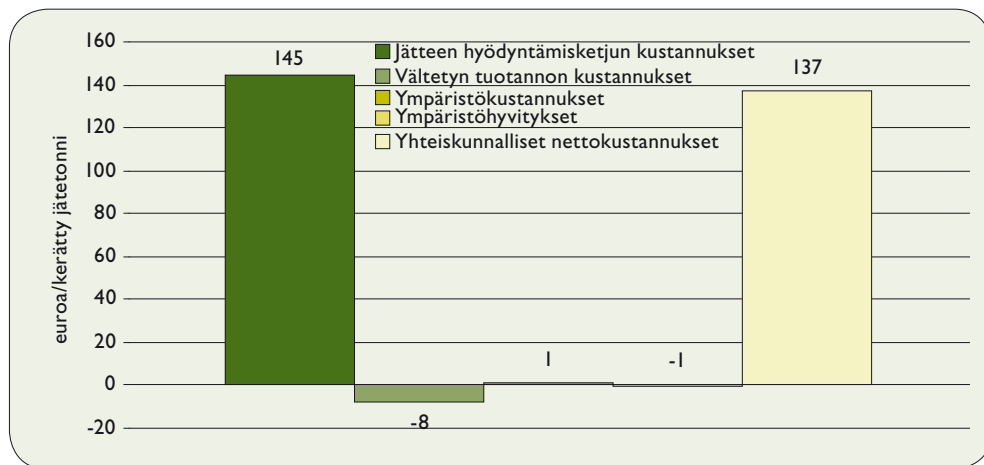
Kuva 59. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun biojäte kompostoidaan ja lopputuote korvaa viherrakentamisessa käytettyä turvetta (Bj I). Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 60. Biojätteen (Bj I) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Jos biojätteen laitospöytäkäsitteystä syntyvän kompostin voidaan kokonaisuudessaan olettaa kelpaavan turpeen korvikkeeksi viherrakennuskäyttöön, vältetään kasvuturpeen oton ja kuljetuksen kustannukset. Vältetyiksi kustannuksiksi on arvioitu noin 8 euroa biojätetonna kohden laskettuna (Kuva 61). Biojätteen hyödyntämisketjun ja turpeen oton yhteenlaskettu nettokustannusvaikutus on tällöin 137 e/biojätetonna. Jos tarkastelunäkökulma on puhtaasti syntyvässä lopputuotteessa, voidaan todeta, että biojätteen laitospöytäkäsitteysti on kallis tapa valmistaa kasvuturpeen korviketta. On kuitenkin huomioitava, että biojätteen käsitteysti vastaa ensisijaisesti jätehuollon tarpeisiin eikä valmistaa kompostia voida olettaa hinnoiteltavan tuotantokustannusperusteisesti.

Yksityistaloudellisten nettokustannusten rinnalla ympäristövaikutusten synnyttämät kustannukset ovat kokonaisvaikutuksen kannalta täysin merkityksettömiä. Biojätteen kompostoinnin synnyttämien ympäristökustannusten ja -hyvitysten yhteenlaskettu nettovaikutus jää kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna 0,4 euron verran nettokustannuksen puolelle ja on siten pyöristettäessä nolla (Kuva 61). Syntyvistä, vähäisistä päästöistä kustannustarkastelussa esiin nousevat jälleen kerran prosessin synnyttämät CO₂-ekv. päästöt. Vältetyt ympäristökustannukset puolestaan koostuvat 96-prosenttisesti turpeen oton vältetyistä CO₂-ekv. päästöistä.



Kuva 61. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun biojäte kompostoidaan (Bj I) ja lopputuote korvaa viherrakentamisessa käytettyä turvetta. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

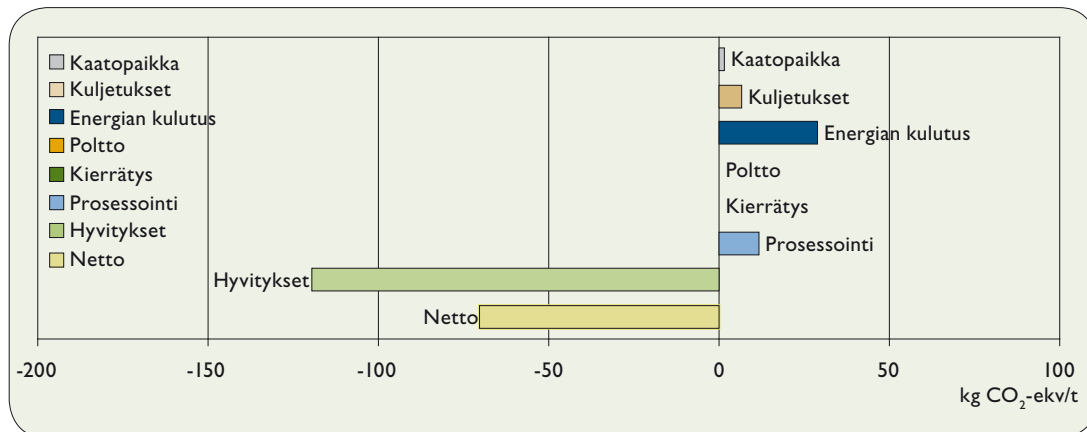
3.4.2

Mädätys ja kompostointi, biokaasun poltto turvekattilassa ja kompostin hyödyntäminen viherrakentamisessa (Bj 2)

Biohajoava materiaali voidaan ennen kompostointia käsitellä mädättämällä, jolloin orgaaninen aine hajotetaan mikrobien avulla hapettomissa olosuhteissa metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Syntyvä kaasu soveltuu polttoaineeksi, sillä sen lämpöarvo on noin 23 MJ/m³ (Myllymaa ym. 2008). Mädäte puolestaan soveltuu kompostoinnin jälkeen viherrakentamisen raaka-aineeksi (Liite 2, Kuva 17). Alkuperäisestä 1000 tonnin määrästä siirtyy mädätyksen jälkeen kompostoitavaksi noin 290 t (Öhman 2007), josta edelleen viherrakentamiseen noin 110 t. Tuotetulla biokaasulla saadaan turvekattilassa tuotettua energiaa noin 550 GJ.

Termofiilissä olosuhteissa tapahtuva mädätys valittiin tutkimuksessa käsiteltäväksi vaihtoehdoksi mesofiilisen mädätyksen sijaan sen vuoksi, että termofiilissä olosuhteissa käsitelty biomassa täyttää sellaisenaan lainsäädännön asettamat hygieeniset vaatimukset.

Mädätetyn ja kompostoidun biojätteen käsittelyketjun hyvitykset ovat CO₂-ekvivalentteina pelkkää kompostointia selvästi suuremmat (Kuva 62). Biojätteen kuljetuksen päästöt muodostavat noin 10 % tuotetuista CO₂-ekv-päästöistä (Kuva 62, Myllymaa ym. 2008). Energian kulutus on pelkkää kompostointia suurempi, mutta samaan aikaan kompostoinnin päästöt ovat pienemmät, koska mädätyksen jälkeen kompostoidun materiaalin määrä on pienempi kuin ilman mädätysvaihetta. Turpeen oton ja polton säästymisellä saavutettava päästöhyvitys on noin 120 kg CO₂-ekv/biojätetonne, ja nettotase ylittää noin 70 kg CO₂-ekv/biojätetonnei hyvitysten puolelle.



Kuva 62. CO₂-ekv-päästöt (kg) biojätetonna kohti, kun biojäte (Bj 2) mädätetään ja kompostoidaan, biokaasu poltetaan turvekattilassa ja mädäte käytetään viherrakentamisessa kasvualustana turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

Kuljetusten osuus CO₂-ekv-päästöistä on noin 5 %, josta noutotyö kattaa 3,1 prosenttiyksikköä ja esim. lopputuotteiden kuljetus noin 0,1 %.

Biojätteen mädätyksen suurimmat ympäristövaikutukset ovat ilmastonmuutoksen lisäksi hiukkasvaikutus, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen (Kuva 63). Hiukkasvaikutuksen aiheuttavat sähkön ja lämmön tuotannon rikin ja typen oksidien päästöt. Maaperän rehevöitymis- ja happamoitusvaikutukset johtuvat kompostoinnin, biokaasun polton ja hyötykäyttöön soveltumattoman, kiinteän mädätyliijäämän kaatopaikkasijoituksen ammoniakkipäästöistä.

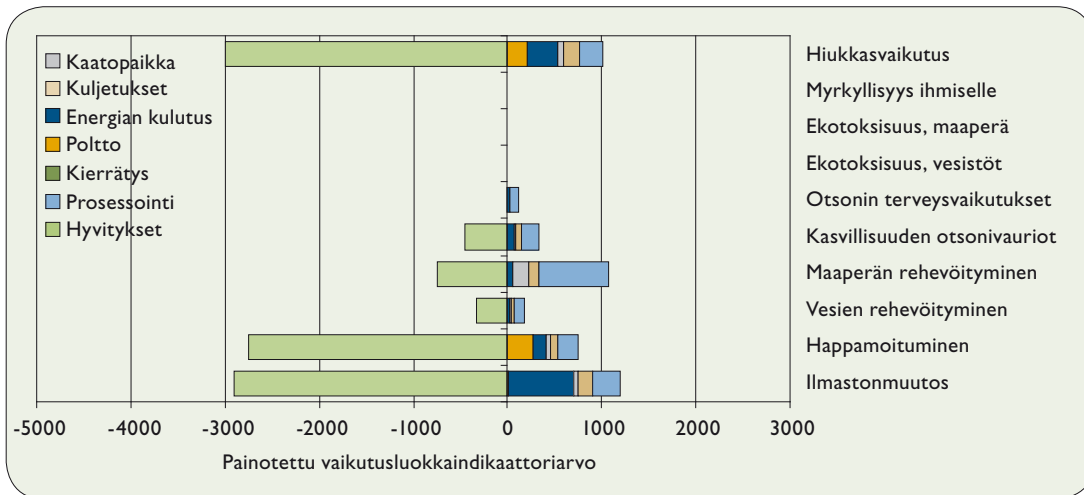
Hyvityksillä saatavat suurimmat hyödyt johtuvat turpeen polton korvaamisesta ja näin vältettävistä SO_x- ja NO_x-päästöistä.

Biojätteen hyödyntäminen mädättämällä ja kompostoimalla synnyttää 114 euron kustannukset (Kuva 64), mikä tarkoittaa noin 20 % alhaisempia hyödyntämisketjun kokonaiskustannuksia kuin biojätteen pelkällä kompostoinnilla (Bj 1) (Kuva 60). Tämä tulos johtuu siitä, että mädätysprosessille käytetty kustannustieto (34 e/syötetonne) on merkittävästi alhaisempi kuin kompostoinnin lähtötieto (73 e/syötetonne) (Myllymaa ym. 2008). Vertailulaitoksia valittaessa haettiin ratkaisuja, jotka perustuvat uusimpaan teknologiaan. Nykyaikaisissa kompostointilaitoksissa sovelletaan hyvinkin monimutkaista teknologiaa, mikä selittää yllättävältä tuntuvaan kustannuseroa. Mädätteen kompostoinnille on käytetty vertailulaitoksena teknisesti pelkistettympää laitosta kuin koko biojättemassan kompostoinnille (Bj 1), mikä merkitsee myös alhaisempia yksikkökustannuksia kompostoitavalle mädätteelle. Noutotyön osalta esimerkkinä on käytetty Pirkanmaalle arvioitua noutotyön kustannusta (57 e/t), ja biojätteen noudon ja muiden kuljetusten osuus kustannuksista on reilut 50 %.

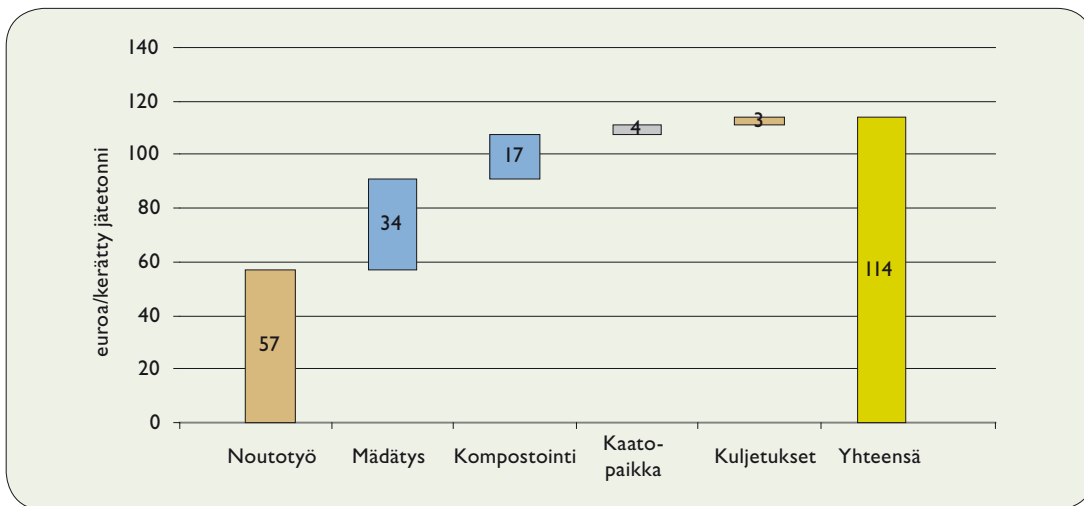
Biojätettä mädättämällä ja kompostoimalla vältetään sekä energiaturpeen että kasvuturpeen ottoa. Mädätyskaasua turpeen sijaan polttamalla vältetään lisäksi turpeen poltosta aiheutuvat päästöoikeuskustannukset. Energiantuotannolle lankeava osuus vältetyistä kustannuksista on noin 75 %, loput kustannussäästöt syntyvät kasvuturpeen oton välttämisestä. Kokonaisuudessaan kustannussäästö on 9 e/biojätetonne (Kuva 65).

Ympäristökustannukset ovat mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmästä käytetyllä pyöritystarkkuudella yhtä suuret kuin koko massan kompostoinnista (Bj 1) (Kuva 61). Merkittävin yksittäinen kustannuksia aiheuttava erä, 45 %:n osuudella, on prosessien käyttämän energian CO₂-ekv. päästöt. Ilmastonmuutosvaikutuksen synnyttämän kustannusvaikutuksen osuus kaikista ympäristöhyvityksistä on biojätteen mädätyksestä ja kompostoinnista noin 60 %, SO₂- ja NO_x-päästöjen vaikutukset vastaavat 25 % ja 15 % osuuksia. Kokonaisuuden kannalta kolmen euron nettohyöty ympäristövaikutuksista on merkityksellinen.

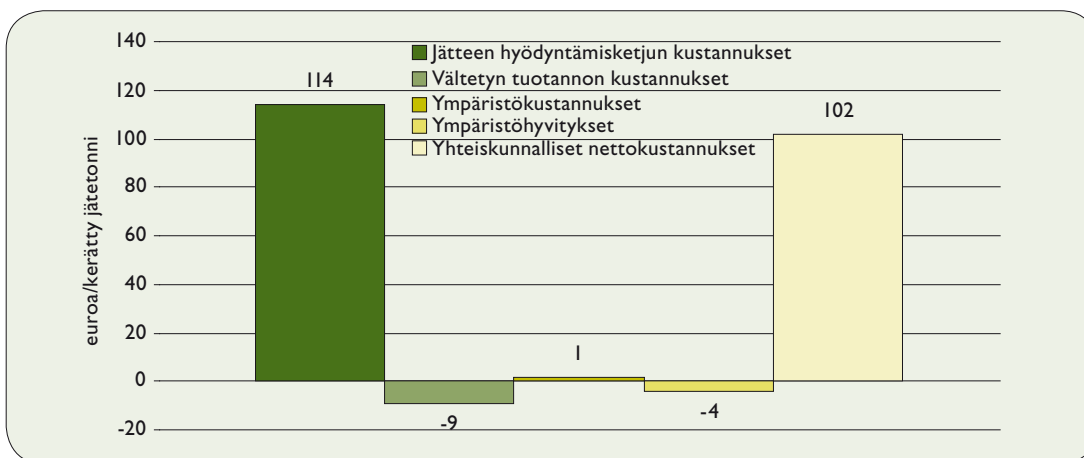
Yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmästä on positiivinen, noin 100 e/biojätetonne (Kuva 65). Alhaisempien hyödyntämisketjun prosessikustannusten vuoksi järjestelmämuutos, jossa biojäte käsitellään mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä on yhteiskunnalle kannattavampi kuin biojätteen pelkkä kompostointi.



Kuva 63. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun biojäte mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet hyödynnetään energiantuotannossa ja viherrakentamisessa (Bj2). Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 64. Biojätteen (Bj 2) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 65. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun biojäte mädätetään, kompostoidaan (Bj 2) ja lopputuotteet hyödynnetään energiantuotannossa ja viherrakentamisessa. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

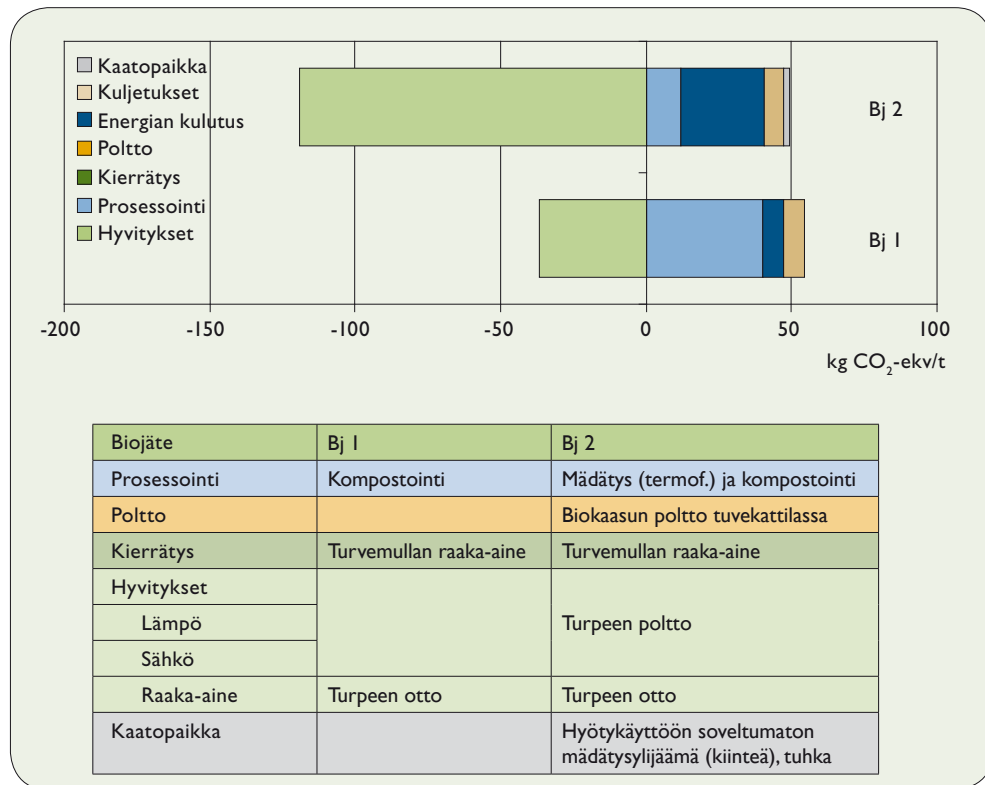
3.4.3

Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen yhteenveto ja vertailu

3.4.3.1

Hyödyntämisvaihtoehdoissa syntyvät CO₂-ekv-päästöt ja päästöhyvitykset

Biojätteen käsittelyjen CO₂-ekv-päästöt syntyvät mädätyksen ja kompostoinnin energian kulutuksesta ja kompostoinnin metaanipäästöistä. Bioperäiset CO₂-päästöt eivät sisällä CO₂-ekvivalentteihin. Biojäte on noudettava kiinteistöiltä, ja kuljetusten osuus erottuu selvästi, koska käsittelyketjussa ei ole muita päästölähteitä. Mallinnuksessa käytetty kuljetusetäisyys siirtopisteestä mädätyslaitokselle on 41 km. Kompostoinnin energian kulutus on mädätystä pienempi, joten prosessointi-elinkaarivaiheen päästöt ovat pienemmät vaihtoehdossa Bj 1 (Kuva 66). Koska mädätyksen tuotekaasu poltetaan, hyvitykset ovat suuremmat kuin kompostoimalla saavutettavat, pelkät turpeen oton välttämisestä saatavat hyödyt.



Kuva 66. Biojätteen eri käsittelyketjujen CO₂-ekv-päästöt (kg) ilmoitettuna jätetonna kohti. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

3.4.3.2

Muut ympäristövaikutukset

Ilmastonmuutoksen ohella biojätteiden potentiaalisia ympäristövaikutuksia sekä kompostoitaessa (Bj 1) että mädätettäessä ja kompostoitaessa (Bj 2) ovat rikin ja typen oksidien aiheuttamat hiukkasvaikutukset sekä ammoniakkipäästön aiheuttama potentiaalinen maaperän rehevöityminen. Mädätyskaasun polttaminen turpeen sijaan tuottaa säästöjä, jotka näkyvät ilmastonmuutosvaikutusten lisäksi sekä hiukkasvaikutuksissa että happamoitumisessa. Kompostoinnin säästöt ovat vähäiset mädätykseen verrattuna, joskin hyödyt ovat luonnollisesti merkittävästi suuremmat kuin jos jäte sijoitettaisiin kaatopaikalle.

Kuljetusten osuus biojätteiden käsittelyketjujen CO₂-päästöistä on noin 5 - 15 %, josta noutotyö kattaa noin 60 - 70 %. Lopputuotteiden kuljetuksen osuus on melko vähäinen, noin 2 - 10 % kokonaispäästöistä. Kasvihuonekaasutaseen kannalta siis lopputuotteen käyttökohteen sijainnin sijaan merkittävämpää on se, miten jätteiden noutotyö on järjestetty.

3.4.3.3

Kustannukset

Kustannustarkastelussa biojätteen hyödyntämisen yhteiskunnallinen vaikutus syntyy lähes täysin yksityistaloudellisista kustannuseristä eli jätteen hyödyntämisketjujen synnyttämistä yksityistaloudellisista kustannuksista (Kuva 67). Kaikki tarkasteltavat kustannuserät huomioiden elinkaaren aikainen yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus on mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä (Bj 2) noin 20 % pienempi kuin koko biojättemassan kompostoinnilla (Bj 1) (Kuva 68). Mädätyksen ja kompostoinnin kustannuksia vertailtaessa on kuitenkin hyvä muistaa, että tulokset pätevät vain tähän tutkimukseen valituille käsittelylaitoksille (Myllymaa ym. 2008), eivätkä siten ole yleistettävissä.

Suurin ero kahden tarkasteltavan vaihtoehdon välillä, laitosmädätyksen (Bj 2) eduksi, syntyy mädätyks- ja kompostointilaitoksen prosessointikustannusten kautta. Käytettyihin vertailulaitoksiin perustuvilla lähtötiedoilla laitosmädätys on laitostuotosta noin 45 euroa eli yli 50 % halvempaa (Myllymaa ym. 2008). Vertailulaitoksia valittaessa haettiin ratkaisuja, jotka perustuvat uusimpaan teknologiaan. Nykyaikaisissa kompostointilaitoksissa sovelletaan hyvinkin monimutkaista teknologiaa, mikä selittää yllättävältä tuntuvaa kustannuseroa. Voidaan kuitenkin todeta, että mädätykselle lähtötietona käytettävän prosessointikustannuksen tulisi nousta yli 85 %, jotta mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmän (Bj 2) yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus olisi yhtä suuri pelkän laitostuotostuotannon (Bj 1) kanssa.

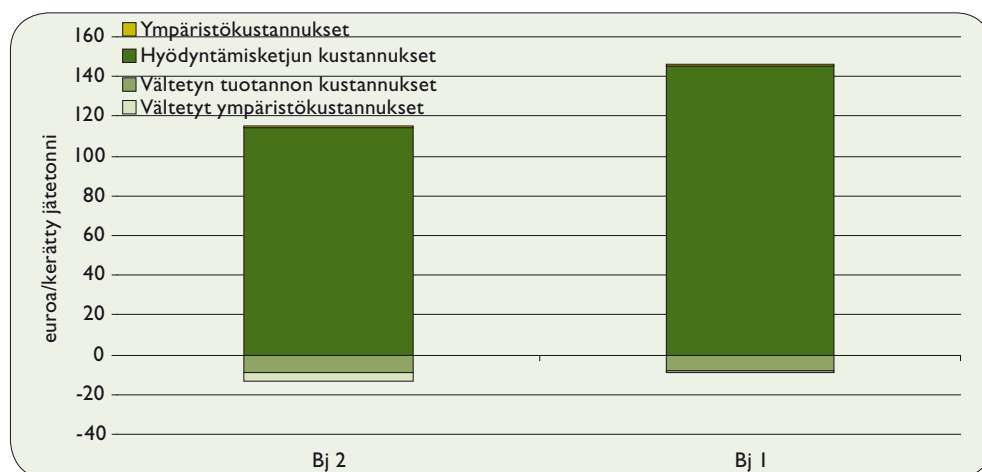
Erilliskerätyn biojätteen hyödyntämisen osalta on tarkastelussa otettu huomioon jätteen noutotyön synnyttämät kustannusvaikutukset. Kokonaisuudessaan noutotyö ja valmiin kompostin kuljetus aiheuttavat noin 50 % kaikista hyödyntämisketjun kustannuksista. Lopputuotteen kuljetuksen kustannusvaikutus on kuitenkin häviävän pieni, alle 3 %, biojätteen noutotyön aiheuttamiin kustannuksiin verrattuna.

Korvattavan järjestelmän tuottamat kustannussäästöt ovat kerättyä jätetonnin kohden ilmaistuna lähes yhtä suuret, jos biojäte käsitellään kompostoimalla (Bj 1) tai mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä (Bj 2) (Kuva 67). Kun sama määrä biojätettä ohjataan joko mädätykseen tai suoraan kompostointiin, vältetään kummassakin tapauksessa turpeen ottoa, mutta kustannusten kannalta on merkittävä ero sillä, kohdistuuko korvaavuus kasvuturpeeksi käytettyyn turpeeseen vai energiana käytettävään jyrshinturpeeseen: kasvuturpeen tuotantokustannukset ovat energianturpeen markkinahintaa merkittävästi alhaisemmat (Myllymaa ym. 2008). Laitostuotostuotannon vältetään kasvualustana käytettävän kasvuturpeen ottoa, mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmä puolestaan korvaa biokaasun energiasisällön verran jyrshinturpeen ottoa ja mädätteestä syntyvän kompostin verran kasvuturpeen ottoa. Kasvuturpeen korvaaminen tuottaa biojätetonnin kohden alhaisemmat vältettävät

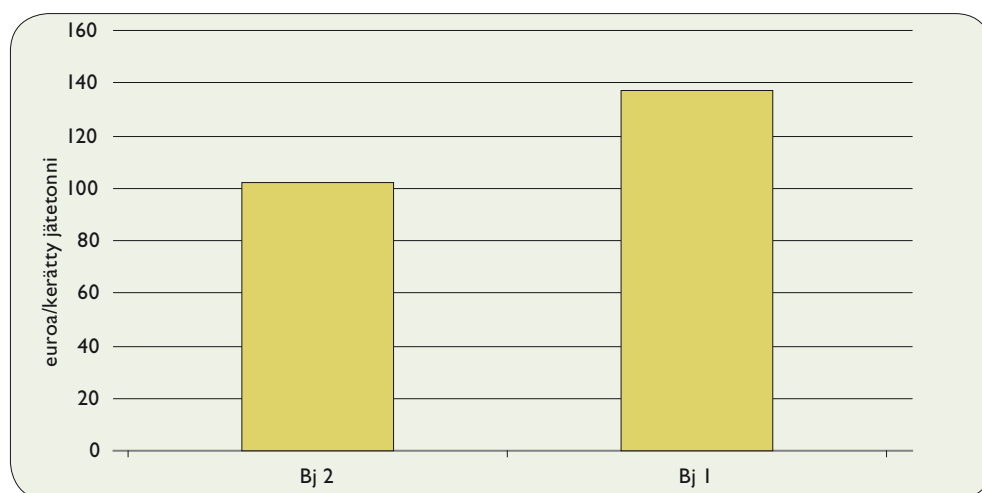
kustannukset kuin kalliimpi, mutta biojätetonna kohden pienempi jyrksinturpeen määrä. Yhdistettynä vältettyihin päästökauppakustannuksiin, mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmän (Bj 2) tuottamat kustannussäästöt ovat kokonaisuudessaan lähes yhtä suuret kuin pelkällä laitoskompostoinnilla (Bj 1).

Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen päästövaikutusten yhteiskunnassa synnyttämät nettokustannukset noudattavat ympäristövaikutustarkastelussa esiin nousevia tekijöitä: ilmastonmuutosvaikutus on ylivoimaisesti merkittävin kustannusten aiheuttaja, mutta myös rikin ja typen oksidien synnyttämät haitalliset vaikutukset näkyvät nettokustannuksissa silloin, kun biojätteestä mädättämällä tuotettua mädätyskaasua voidaan polttaa turpeen sijaan (Bj 2). Yhteiskunnallisen kokonaisvaikutuksen kannalta ympäristövaikutuksille annetut rahamääräiset arvot jäävät kuitenkin mitättömiksi.

Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtoja ja niillä korvattavia prosesseja vertailtaessa on oleellista muistaa, että biojätteen hyödyntäminen vastaa jälleen ensisijaisesti jätehuollon tarpeisiin eikä tarkoituksellista olekaan verrata prosessien synnyttämien lopputuotteiden kilpailukykyä suhteessa korvattaviin tuotteisiin. Yhteiskunnallisesta näkökulmasta koko hyödyntämisketjun kustannukset muodostavat prosessien tuottamien lopputuotteiden hinnan, vaikka käytännössä esimerkiksi kompostilaitoksen tuottamaa kasvualueita myydään kuluttajille sen tuotantokustannusta halvemmalla.



Kuva 67. Biojätteen hyödyntämisvaihtoehtojen kokonaiskustannukset ja vältetyt kokonaiskustannukset jätetonna kohti. Vasemmalla alhaisimmat nettokustannukset saanut ja oikealla suurimmat nettokustannukset saanut vaihtoehto.



Kuva 68. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen synnyttämät yhteiskunnalliset nettokustannukset jätetonna kohden.

Jätevesilietteet

3.5.1

Mädätys ja kompostointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen poltossa, viherrakentamisessa ja peltolannoitteena

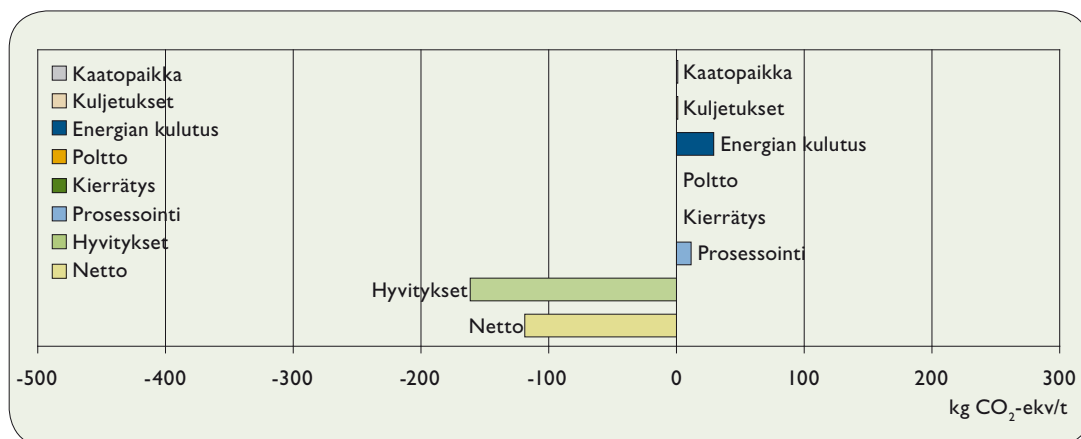
Jätevesilietteet voidaan biojätteen tavoin mädättää ja kompostoida, jolloin lopputuotteina saadaan biokaasua, kiinteää mädätettä sekä mädätteestä erotettua nestettä. Biokaasu soveltuu poltettavaksi, mädäte soveltuu esimerkiksi viherrakentamiseen ja mädätteestä erotetun nesteen ravinnesisältö mahdollistaa sen käytön peltolannoitteena (Myllymaa ym. 2008). Mädäte voi korvata viherrakentamisessa käytettyä turvetta, mutta lisäksi hyödyt riippuvat siitä, mitä polttoaineita biokaasun poltolla korvataan.

3.5.1.1

Korvattavina materiaaleina öljy, lannoiteravinteet ja turve (L 1)

Jätevesilietteiden mädätyksen ja kompostoinnin kiinteällä lopputuotteella voidaan korvata turpeen käyttöä viherrakentamisessa, ja tuotettua biokaasua voidaan polttaa esimerkiksi öljykattilassa öljyn sijaan. Myös mädätteestä erotetulla nesteellä on takaisin peltoon palautettuna hyötyarvoa, sillä nesteen sisältämien ravinteiden voidaan olettaa korvaavan lannoiteravinteita (Liite 2, Kuva 18). Alkuperäisestä 1 000 tonnin lietemäärästä siirtyy mädätyksen jälkeen kompostoitavaksi noin 290 t, josta edelleen viherrakentamiseen noin 190 t (sisältää myös tukiaineeksi lisätyn turpeen, 200 kg/t) (Myllymaa ym. 2008). Tuotetulla biokaasulla saadaan öljykattilassa tuotettua energiaa noin 1100 GJ. Mädätyksen energiankulutus on noin 300 GJ/1 000 tonnia jätettä.

Edellä mainitun hyödyntämisketjun potentiaalinen hyöty on noin 161 kg CO₂-ekv/tonni jätevesilietettä ja nettohyödyksi saadaan noin 120 kg CO₂-ekv/lietetonni (Kuva 69). Hyvityksistä kaksi kolmannesta johtuu turpeen polton välttämisestä ja alle 10 % lannoiteravinteiden korvaamisesta (Taulukko 11).



Kuva 69. CO₂-ekv-päästöt (kg) lietetonniä kohti, kun jätevesiliete (L 1) mädätetään ja kompostoidaan, biokaasu poltetaan öljykattilassa, mädäte käytetään viherrakentamisessa kasvualustana turpeen sijaan ja mädätteestä erotettu vesi hyödynnetään pellolla ravinteena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

Taulukko II. Jätevesilietteen käsittelyssä syntyneiden CO₂-hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1 000 t jätevesilietettä kohti, kun biokaasun poltolla korvataan öljyä, mädätteellä turpeen ottoa ja mädätteestä erotetuilla rejektivesillä lannoiteravinteita.

Vältettyjen päästöjen (hyvitysten) alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Fosforilannoitteen tuotanto	-214	-0 %
Öljyn (POR) tuotanto	-8 622	-6 %
Typpilannoitteen tuotanto	-11 372	-9 %
Turpeen otto	-16 162	-12 %
Öljyn poltto	-97 977	-73 %
	-134 349	

Jätevesilietteen hyödyntämisen muita potentiaalisia ympäristövaikutuksia ovat maaperän rehevöityminen, hiukkasvaikutus ja happamoituminen (Kuva 70). Perustelut ovat pääosin samat kuin biojätteen mädätysvaihtoehdossa (Bj 2): Hiukkasvaikutuksen aiheuttavat sähkön ja lämmön tuotannon rikin ja typen oksidien päästöt, maaperän rehevöitymis- ja happamoitumisvaikutukset johtuvat kompostoinnin, mädätyskaasun polton ja hyödyntämiseen kelpaamattoman mädäteylijäämän kaatopaikkasijoituksen ammoniakkipäästöistä.

Hyödyt happamoitumisen ja hiukkasten muodostumisen vaikutusluokissa johtuvat öljyn polton välttämisestä.

Jätevesilietteen käsittelyn- ja hyödyntämisen kustannukset koostuvat lietteen mädätyksestä, mädätteen kompostoinnista, mädätysprosessin biohajoamattoman ja hyödyntämiseen soveltumattoman, kiinteän ylijäämän loppusijoituksesta ja lietteen sekä valmiin lopputuotteen kuljetuksista. Yhteenlaskettuna hyödyntämisketjun kustannukset ovat 54 e/lietetonni (Kuva 71). Jätevesilietteen osalta ei ole tarpeen tarkastella noutotyön kustannusvaikutuksia, koska kaikki liete kuljetetaan samasta lähtöpisteestä, jätevedenpuhdistamolta, mädättämölle.

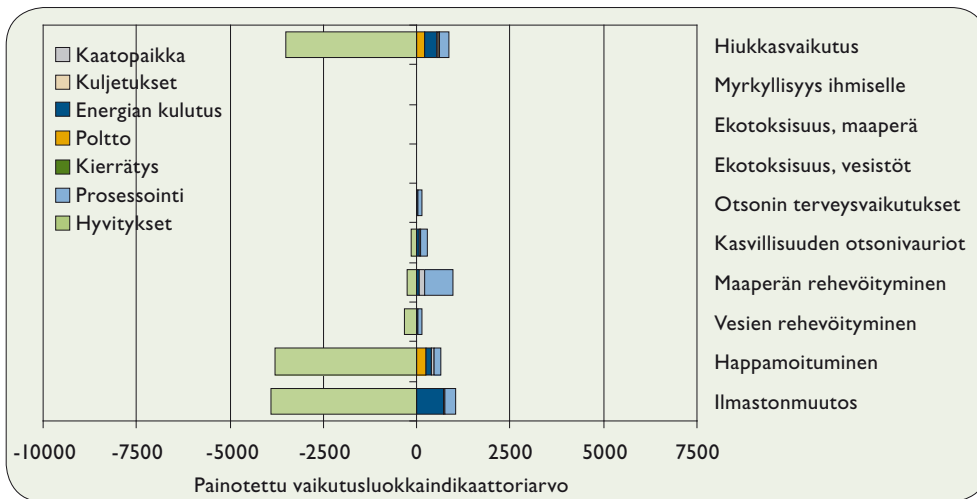
Mädätysprosessin ja sitä seuraavan kompostoinnin osalta on käytetty samoihin vertailulaitoksiin perustuvia lähtötietoja kuin biojätteen mädätystä (Bj 2) tarkasteltaessa (Kuva 64). Käsiteltyä tonnia kohden kustannus on lietteen osalta kuitenkin hieman alhaisempi suuremman käsittelykapasiteetin mahdollistamien alhaisempien yksikkökustannusten seurauksena.

Jätevesilietteen mädätyksen seurauksena voidaan korvata kolmen lopputuotteen tuotantoa. Vältetyistä kustannuksista, yhteensä 23 e/lietetonni (Kuva 72), noin 10 % syntyy, kun vältetään kasvuturpeen ottoa kasvualustakäyttöön. Mädätteestä erotettu neste korvaa peltolannoitekäytössä kemiallista lannoitetta, jonka vältetyt kustannukset on arvioitu yhdistelmälannoite Pellon Y1:n perusteella (Myllymaa ym. 2008). Mädätyskaasun polttaminen puolestaan korvaa öljyn polttoa ja lisäksi kustannussäästöjä saadaan öljyn polton vältetyistä päästökauppakustannuksista. Lannoitehyvityksen osuus kaikista vältetyistä kustannuksista on noin 15 %, öljyn polton välttämisen 75 %.

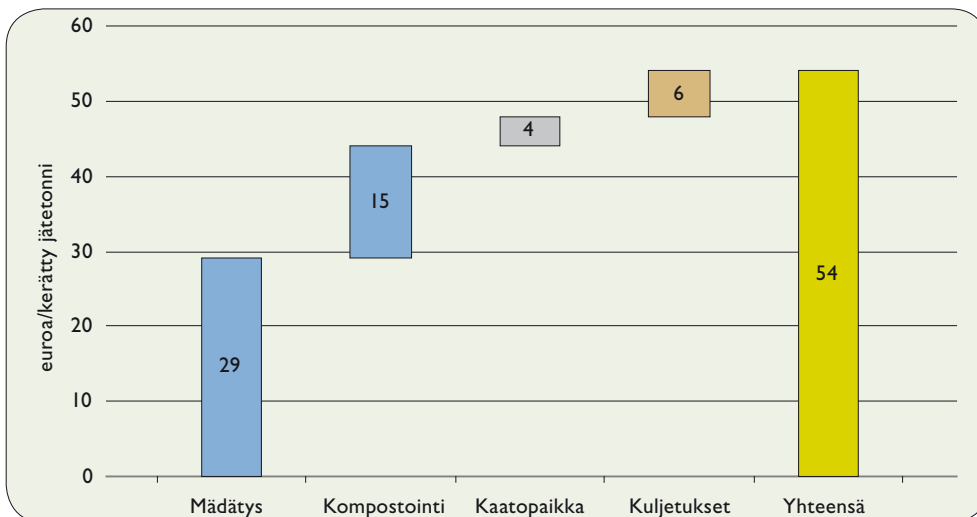
Lietteen mädätyksen ja kompostoinnin ympäristökustannukset, noin 1 e/lietetonni, ovat samat kuin biojätettä mädätettäessä (Bj 2) ja koostuvat 75 %:n osuudella CO₂-ekv. päästöjen ja 15 %:n osuudella SO₂-päästöjen vaikutuksista. Loput noin 10 % syntyvät typen oksidien ja pienhiukkasten synnyttämistä ympäristövaikutuksista.

Ympäristöhyvitykset jätevesilietteen hyödyntämisestä syntyvät pääosin turpeen otossa vältettyjen päästöjen ympäristövaikutuksista. Kaikista syntyvistä ympäristökustannussäästöistä ilmastomuutosvaikutuksen osuus on noin 60 %, SO₂-päästöjen vaikutuksen noin 30 % ja loput 10 % koostuvat typen oksidien ja pienhiukkasten aiheuttamien ympäristövaikutusten kustannuksista.

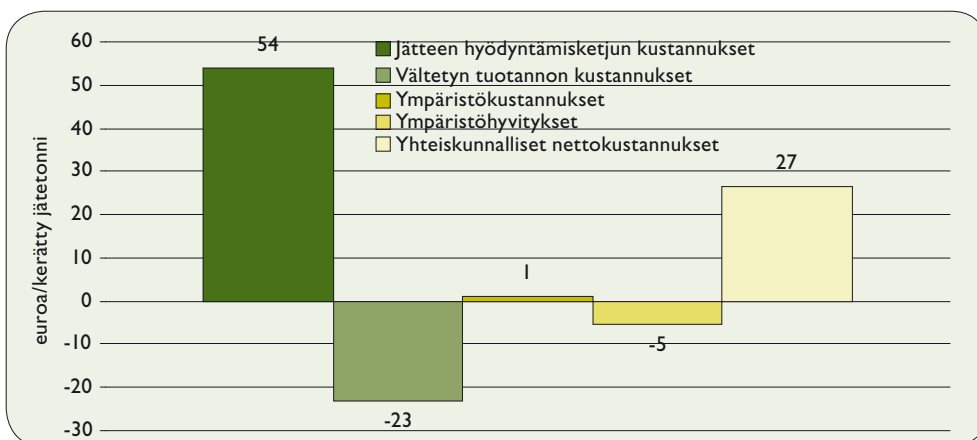
Nettona jätevesilietteen hyödyntäminen mädättämällä tuottaa 27 euron yhteiskunnallisen kustannusvaikutuksen (Kuva 72).



Kuva 70. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätevesiliete (L I) mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet hyödynnetään energiantuotannossa, viherrakentamisessa ja ravinteina pellolla. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 71. Jätevesilietteen (L I) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisyksiköille kerättyä jätetonnia kohden ilmaistuna.



Kuva 72. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotantoon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesiliete (L I) mädätetään, kompostoidaan ja biokaasu poltetaan öljykattilassa, mädäte käytetään viherrakentamisessa kasvualustana turpeen sijaan ja mädätteestä erotettu vesi hyödynnetään pellolla ravinteena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

3.5.1.2

Korvattavina materiaaleina turve ja lannoiteravinteet (L 2)

Jätevesilietteen toisessa hyödyntämismallivaihtoehdossa prosessit ovat samat kuin edellä luvussa 3.5.1.1 sillä poikkeuksella, että korvattavana polttoaineena on nyt turve (Liite 2, Kuva 19). Biokaasun poltosta syntyy vain bioperäiseksi laskettavaa hiilidioksidia ja koska nykyisissä polttolaitoksissa metaanipäästöt ovat hyvin pienet, biokaasun poltolla ei ole näkyviä päästöjä CO₂-ekvivalenteiksi laskettuna. Turpeen päästökerroin tuotettua energiayksikköä kohti on suurempi kuin öljyn (vrt. Taulukko 1), mutta saatavien hyvitysten kannalta tilannetta tasoittaa se, että öljykattilan energian saanto on hyvä, noin 90 %, kun taas esimerkkinä käytetty turvekattila toimii vain 60 % energiasaannolla (Myllymaa ym. 2008).

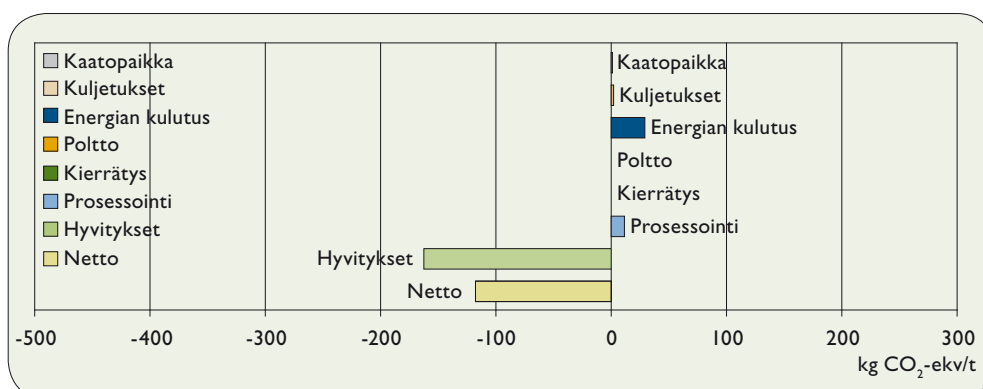
Alkuperäisestä 1 000 tonnin lietemäärästä siirtyy mädätyksen jälkeen kompostoitavaksi noin 290 t, josta edelleen viherrakentamiseen noin 190 t (sisältäen myös tukiaineeksi lisätyn turpeen). Tuotetulla biokaasulla saadaan öljykattilassa tuotettua energiaa noin 550 GJ. Potentiaalinen kokonaishyöty on noin 163 kg CO₂-ekv/tonni jätevesilietettä ja nettohyödyksi saadaan noin 120 kg CO₂-ekv/tonni (Kuva 73). Tunnusluvut ovat käytännössä samat kuin korvattaessa öljyä (vrt. Kuva 69). Päästöistä kolme neljänestä on tällä kertaa peräisin turpeen polton välttämistä, ja lannoiteravinteiden käytön välttämisestä saatavan säästön osuus on edelleen alle 10 % (Taulukko 12).

Korvattaessa lietteestä tuotetulla biokaasulla turpeen polttoa, potentiaaliset ympäristövaikutukset ovat muuten samat kuin öljyä korvattaessa (Kuva 70), mutta vältettäessä turpeen polton NO_x-päästöt saadaan hyvityksinä jonkin verran enemmän hyötyä vältettyinä maaperän rehevöitymisen ja kasvillisuuden otsonivaurioiden vaikutuksina.

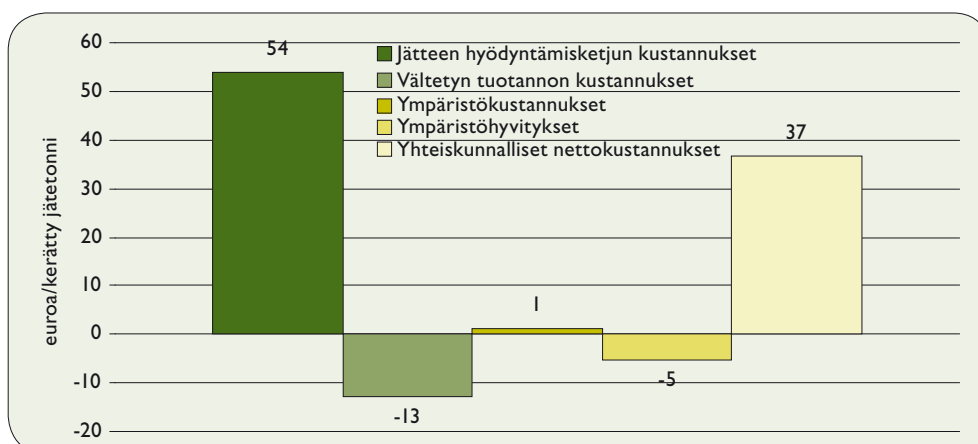
Jätevesilietteen käsittelyn yhteiskunnallinen kustannusvaikutus silloin, kun korvattavina materiaaleina ovat turve ja peltolannoite, on 37 e/jätevesilietetonne (Kuva 74). Ero edellä tarkasteltuun lietteen hyödyntämismallivaihtoehtoon (L 1) syntyy korvatun järjestelmän synnyttämien kustannussäästöjen kautta. Korvattavien materiaalien osalta peltolannoite Pellon Y1 ja kasvuturve ovat samat kuin edellä tarkastellussa vaihtoehdossa (L 1), mutta öljy energialähteenä on vaihdettu turpeeseen. Jyrsin-turpeen halvempi polttoainehinta vaikuttaa siihen, että nyt tarkasteltavasta järjestelmästä syntyy alhaisemmat kustannussäästöt ja vaihtoehdon yhteiskunnallinen kustannusvaikutus on suurempi. Polttoainekorvaavuuden vaihtaminen öljystä turpeeseen näyttäytyy myös ympäristöhyvitysten rahamääräisessä arvossa, mutta ero on niin pieni, että se katoaa käytetyllä pyöristystarkkuudella. Muilta osin, jätteen käsittely- ja hyödyntämiskustannusten ja ympäristökustannusten osalta, tarkastelu vastaa jätevesilietteen käsittelyn vaihtoehtoa L 1.

Taulukko 12. Jätevesilietteen käsittelyssä syntyneiden CO₂-hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t jätevesilietettä kohti, kun biokaasun poltolla korvataan turvetta, mädätteellä turpeen ottoa ja mädätteestä erotetuilla rejektivesillä lannoiteravinteita.

Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kuljetukset, yhteensä	-13	0 %
P-lannoitteen tuotanto	-214	-0 %
Turpeen otto, biokaasu	-7 897	-6 %
N-lannoitteen tuotanto	-11 372	-9 %
Turpeen otto, viherrakentamiseen	-16 162	-12 %
Turpeen poltto, mädätyskaasuhyvyitys	-96 704	-73 %
	-132 362	



Kuva 73. CO₂-ekv-päästöt (kg) liettonnia kohti, kun jätevesiliete (L 2) mädätetään ja kompostoidaan, biokaasu poltetaan turvekattilassa, mädäte käytetään viherrakentamisessa kasvualustana turpeen sijaan ja mädätteestä erotettu vesi hyödynnetään pellolla ravinteena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 74. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesiliete (L 2) mädätetään, kompostoidaan ja biokaasu poltetaan turvekattilassa, mädäte käytetään viherrakentamisessa kasvualustana turpeen sijaan ja mädätteestä erotettu vesi hyödynnetään pellolla ravinteena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Terminen kuivaus ja arinapoltto teollisuusalueella (L 3)

Jätevesiliete on termisesti kuivattuna rakeista tai jauhemaista materiaalia, jonka kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 90 %. Energiasisältö on noin 15 MJ/kg, eli samaa luokkaa kuin RDF-polttoaineella (Myllymaa ym. 2008). Kuivattu liete on käytettävissä polttoaineeksi esimerkiksi arinapolttokattilassa. Esimerkiksi puunjalostusteollisuuslaitoksen yhteydessä (esim. Pirkanmaa) voitaisiin lietteen arinapoltolla korvata öljyä, puuta, maakaasua ja kivihiiltä (Liite 2, Kuva 20). Alkuperäisestä 1 000 tonnin lietemäärästä syntyy noin 300 t termisesti kuivattua massaa, josta arinapolton jälkeen on jäljellä noin 60 t tavanomaista ja 20 t ongelmatuhkaa. Energiaa syntyy arinapoltossa noin 3 700 GJ.

Tällaisen hyödyntämisvaihtoehdon päästöissä erottuvat öljykäyttöisen kuivaimen polttaman öljyn päästöt. Kuivaimien polttoaineena voidaan käyttää öljyn sijaan myös muita polttoaineita, mutta lähdetiedot ovat öljyä käyttävästä ratkaisusta (Myllymaa ym. 2008). Tarkastelussa arvioitiin myös mahdollisuutta käyttää lietteen kuivaamiseen polttolaitoksen lauhdelämpöä. Hukkaan menevä lämpömäärä ei kuitenkaan olisi riittänyt kattamaan lietteen kuivausta oletetulle tasolle, joten vaihtoehto jätettiin pois tarkasteluista. Jätevesilietteiden kuivaaminen teollisuuden sekundaarilämpövirroilla ja lauhdelämmöllä on kuitenkin prosessi, joka saattaisi sopivissa olosuhteissa toimia ja olla myös taloudellisesti kannattavaa.

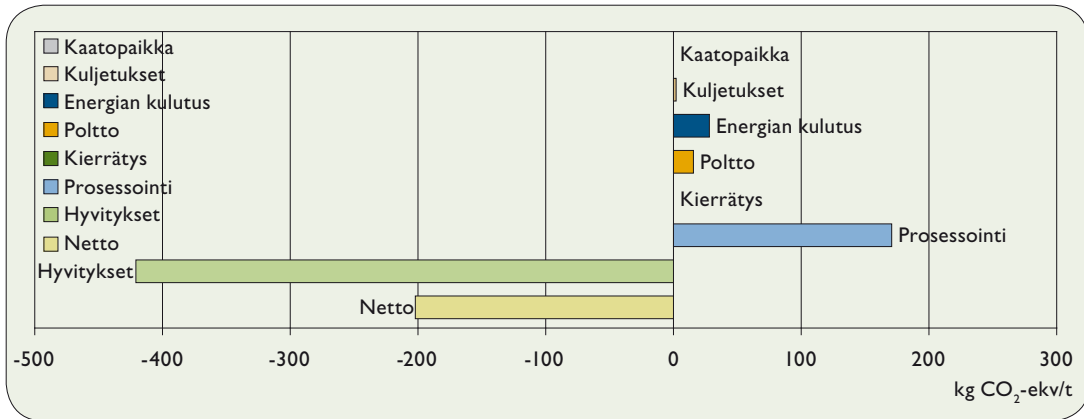
Prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteydessä arinapolttolaitos toimii hyvällä, noin 80 %:n energian saannolla (Myllymaa ym. 2008), ja hyvitykset ovat 420 kg CO₂-ekv/lietetonni. Kolme neljännestä säästöistä syntyy, kun oletetaan korvattavan kivihiililauhteella tuotettua sähköä, kun taas öljyn ja puun polton välttäminen synnyttää säästöistä noin seitsemäsosan (Taulukko 13).

Termisesti kuivatun jätevesilietteen polton käsittelyketjusta aiheutuvat ilmastonmuutosvaikutukset ovat suuremmat kuin lietettä mädätettäessä, joskin vastaavasti myös saatavat hyvitykset ovat suuremmat (Kuva 75). Muita potentiaalisia ympäristövaikutuksia ovat hiukkasvaikutus, kasvillisuuden otsonivauriot ja happamoituminen, joiden merkitys on kuitenkin ilmastonmuutokseen verrattuna pieni (Kuva 76). Hyvitykset jakaantuvat myös melko tasaisesti eri vaikutusluokkien kesken.

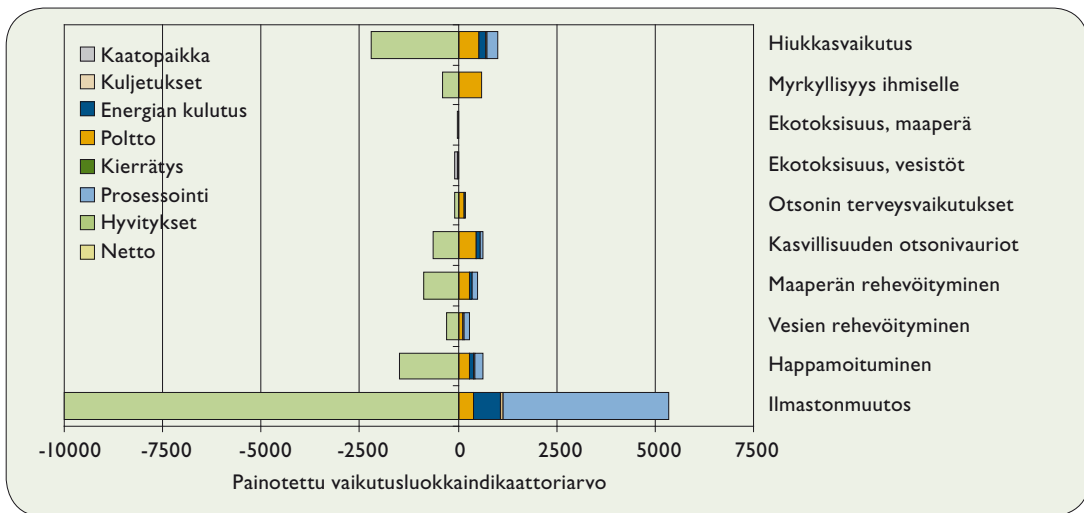
Jätevesilietteen kuivaus öljyä käyttämällä on suhteellisen kallista, noin 120 euroa lietetonnilta (TS n. 20 %) (Kuva 77). Kuivattu, jauhe- tai raemainen liete voidaan polttaa arinakattilassa sekajätteen tai muun poltettavan jätteen seassa. Tällöin arinapolton yksikkökustannus syötetonnia (66 e/t) kohden vastaa sekajätteen tai kierrätyspolttoaineen arinapolton kustannusta (luvut 3.2.1.2, 3.3.4.2). Jätevesilietetonnina kohden laskettu arinapolton kustannus on 22 euroa ja yhteenlaskettu kustannus lietteen koko käsittely- ja hyödyntämisketjulta 160 e/lietetonni, kun huomioidaan myös polton tuhkien loppusijoitus ja lietteen sekä tuhkien kuljetukset.

Taulukko 13. Jätevesilietteen käsittelyssä syntyneiden CO₂-hyvitysten alkuperä toiminnoittain 1000 t jätevesilietettä kohti, kun jätevesiliete kuivataan termisesti ja poltetaan prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa, jonka tuottama energia korvaa kivihiililauhdeselektriksi, puuta, öljyä ja maakaasua.

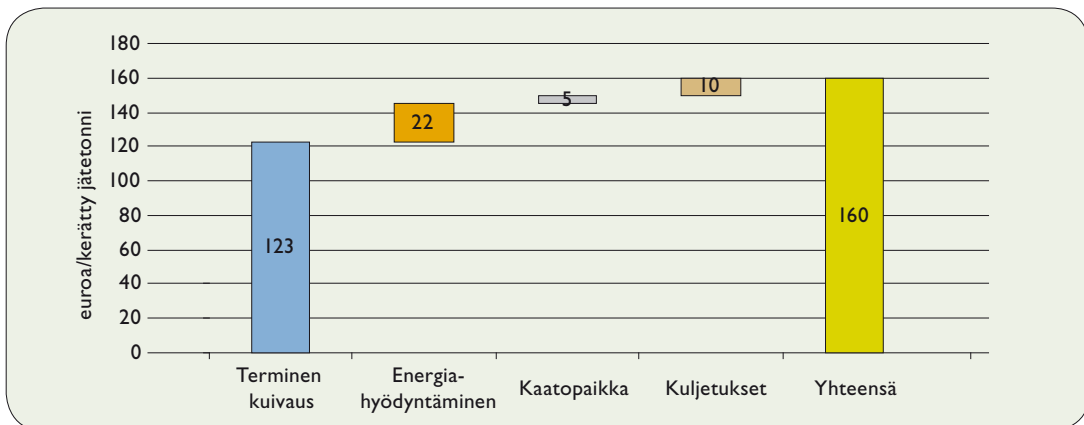
Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Puun tuotanto ja harventaminen	-1 623	-0 %
Maakaasun tuotanto	-4 508	-1 %
Raskaan polttoöljyn tuotanto	-10 623	-3 %
Lämmön tuotanto, maakaasu	-17 240	-4 %
Kivihiilen louhinta	-18 476	-5 %
Lämmön tuotanto, öljy 64 %, puu 36 %	-55 711	-14 %
Sähkön tuotanto, kivihiililauhde	-300 792	-74 %
	-408 972	



Kuva 75. CO₂-ekv-päästöt (kg) liettonnia kohti, kun jätevesiliete (L 3) kuivataan termisesti ja poltetaan prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa, jonka tuottama energia korvaa kivihiililauhdesähköä, puuta, öljyä ja maakaasua. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 76. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätevesiliete (L 3) kuivataan termisesti ja poltetaan prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa, jonka tuottama energia korvaa kivihiililauhdesähköä, puuta, öljyä ja maakaasua. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



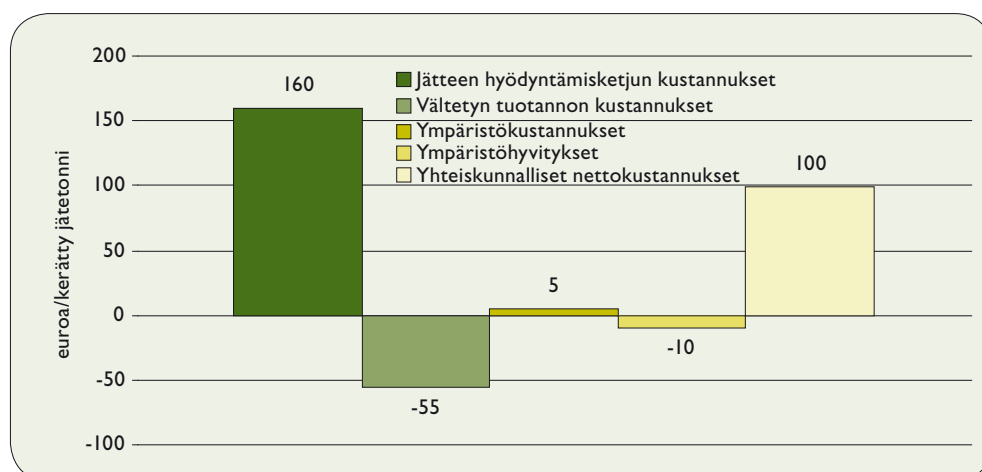
Kuva 77. Jätevesilietteen (L 3) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Lietteen termisen kuivauksen ja arinapolton yhteiskunnalliset nettokustannukset, noin 100 e/lietetonnilta (Kuva 78), muodostuvat lietteen hyödyntämisen yksityistaloudellisten kustannusten lisäksi kuivatun lietteen poltolla korvattavan energiantuotannon vältetyistä kustannuksista ja hyödyntämisen synnyttämien ympäristövaikutusten kustannuksista.

Korvattava energiantuotanto, sähköntuotanto kivihiilellä ja lämmöntuotanto öljyllä, puulla ja maakaasulla, tuottaa noin 55 euron kustannussäästön lietetonna kohden ilmaistuna (Kuva 78). Kuivattua, poltettavaa lietetonna kohden vältettyjen kustannusten erä on yhtä suuri kuin sekajätettä (Sj 2) tai kierrätyspolttoainetta (Kp 2) arinapoltettaessa (Kuva 7, Kuva 44). Tulos johtuu laskelmassa tehdystä yksinkertaistuksesta, jonka mukaan jäteperäisen polttoaineen poltosta syntyvät kustannussäästöt on jaettu tasan poltettavien jakeiden määrälle riippumatta pienistä vaihteluista niiden energiasisällössä.

Jätevesilietteen käsittelystä ja hyödyntämisestä syntyvistä, noin viiden euron ympäristökustannuksista 90 % on ilmastomuutosvaikutuksen aiheuttamaa. CO₂-ekv. päästöistä termisen kuivauksen aiheuttamia on 80 %, prosessien energian kulutuksen noin 10 %, ja polton osuus päästöistä on noin viiden prosentin luokkaa.

Ympäristöhyvitysten synnyttämät kustannussäästöt, 10 e/lietetonni, ovat kuivatun lietteen arinapoltoista yhtä suuret kuin sekajätteen (Sj 2) tai kierrätyspolttoaineen (Kp 2) poltosta (Kuva 7, Kuva 44) samoilla korvattavilla energialähteillä, mutta lietetonna kohden ilmaistuna kustannussäästöt eroavat kerättyä jätetonna kohden ilmoitetuista kustannuksista.



Kuva 78. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvattun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesiliete (L 3) kuivataan termisesti ja poltetaan prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa, jonka tuottama energia korvaa kivihiililaudesähköä, puuta, öljyä ja maakaasua. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

3.5.3 Kemiallinen käsittely, kompostointi ja käyttö viherrakentamisessa (L 4)

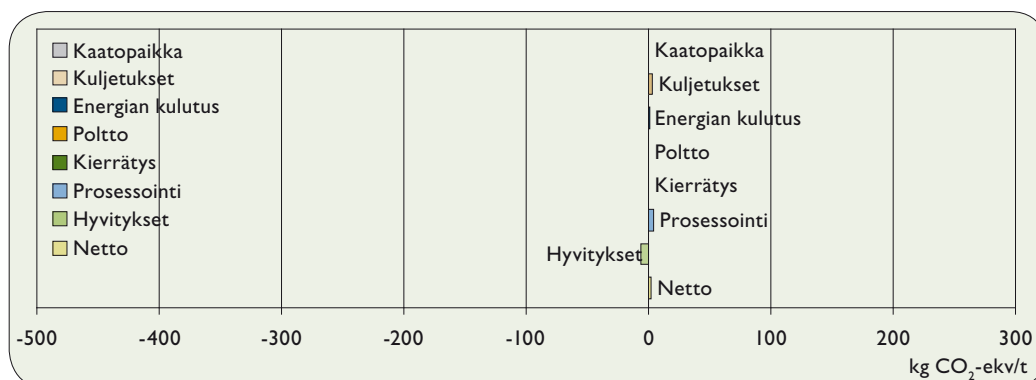
Kemiallisen käsittelyn avulla liete saadaan hygienisoitua, jonka jälkeen se on sellaisenaan tai kompostoituna käytettävissä esimerkiksi viherrakentamiseen (Liite 2, Kuva 21, Myllymaa ym. 2008). Tässä käsittelyketjussa jätevesilietteen saamat hyvitykset rajoittuvat turpeen oton vaikutusten välttämiseen. Alkuperäisestä 1000 tonnin lietemäärästä syntyy kemiallisen käsittelyn jälkeen noin 100 t lietettä, joka

kompostoidaan. Kompostoinnin jälkeen lopputuotteena on noin 65 t kompostia, joka hyödynnetään viherrakentamisessa.

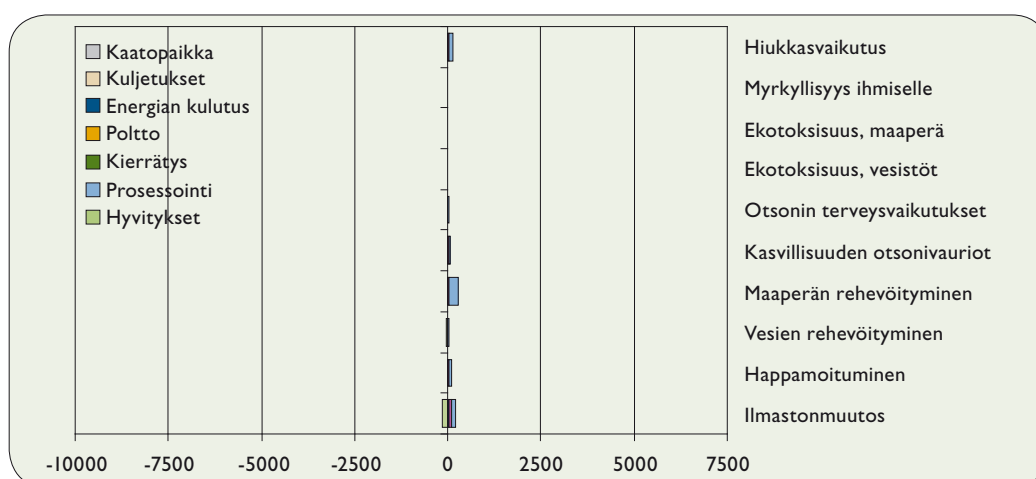
Muiden jätelajien kanssa samalla asteikolla tarkasteltuna lietteen kemiallisen käsittelyn hyödyt jäävät melko vähäisiksi (Kuva 79): hyvityksen suuruus on noin 6 kg CO₂-ekv/lietetonni ja nettohyöty on 2 kg CO₂-ekv/lietetonni. Kaikki hyvitykset johtuvat vältetystä turpeen käytöstä.

Tässä mallinnetun viherrakentamiskäytön lisäksi kemiallisesti käsitelty liete soveltuisi myös maanparannusaineeksi esim. peltoon. Kemiallisesti käsitellylle lietteelle tehtyjen kokeiden perusteella sen sisältämät ravinteet ovat muulla tavoin käsiteltyjä lietteitä paremmin kasvien saatavilla (Kapuinen ja Rantanen 2008). Esim. pellolla hyödynnetty kemiallinen liete saisi siis ravinnehödyn kautta suuremmat hyvitykset, kuin viherrakennuskäytössä, joskaan ravinnehödynkään avulla kasvihuonekaasuhyvitykset eivät yltäisi biokaasun hyödyntämisen ja lietteen arinapolton hyötyjen tasolle.

Kemiallisesti käsitellyn ja viherrakentamisessa hyödynnetyn lietteen käsittelyketjusta aiheutuvat ympäristövaikutukset jäävät hyvin vähäisiksi, mutta samoin on myös vältettävien vaikutusten laita (Kuva 80).



Kuva 79. CO₂-ekv-päästöt (kg) lietetonniä kohti, kun jätevesiliete (L 4) käsitellään kemiallisesti, kompostoidaan ja käytetään viherrakentamisessa turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

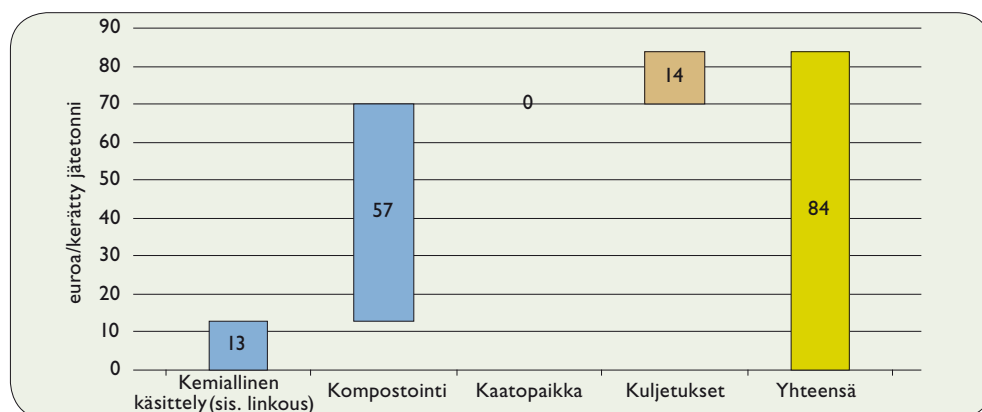


Kuva 80. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätevesiliete (L 4) käsitellään kemiallisesti, kompostoidaan ja käytetään viherrakentamisessa turpeen sijaan. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.

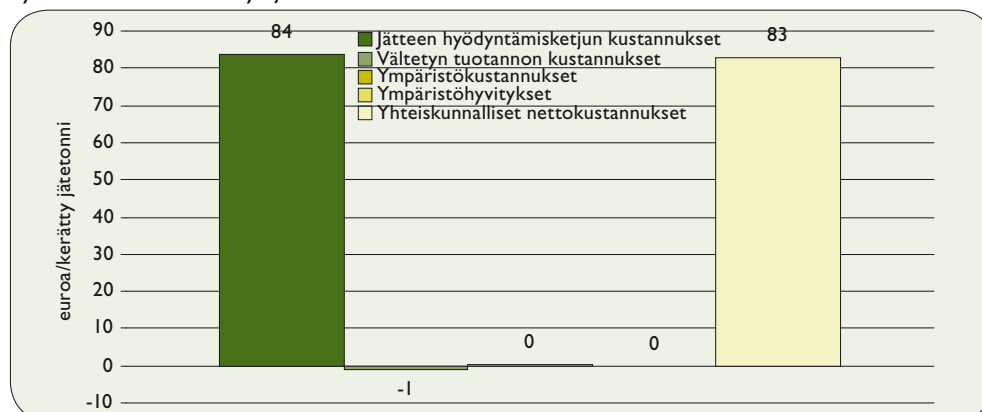
Lietteen hygienisointi kemiallisesti käsittelemällä maksaa arviolta noin 65 e/kuiva-ainetonna (Myllymaa ym. 2008) Tarkasteluun otettua lietetonna kohden tämä tarkoittaa 13 e/tonni (Kuva 81). Hygienisoinnin jälkeen linkokuivattu liete hyödynnetään kompostoimalla kasvualustakäyttöön korvaamaan kasvuturvetta. Sisään tulevaa lietetonna kohden kompostoinnin (sis. jälkikypsytyksen) kustannus (57 e/t) on varsin korkea, koska hygienisoitu ja linkokuivattu liete oletetaan kompostoitavaksi modernissa kompostointilaitoksessa. Tämä oletus perustuu alueelliseen järjestelmätarkasteluun, jossa samalla alueella kompostoidaan myös biojäte. Hygienisoitu ja linkokuivattu liete voidaan kompostoida myös yksinkertaisemmin, mm. aumoissa, jolloin kompostoinnit kustannukset voivat jopa puolittua. Lietetonna kohden ilmaistuna myös kaatopaikalle sijoitettavan kiinteän ylijäämän tuottama kustannus on alle euron ja kuljetusten kustannukset noin 15 euroa. Yhteensä käsittelyn ja hyödyntämisen kustannuksiksi muodostuu noin 85 euroa lietetonnilta (Kuva 81).

Kemiallisesti käsitellyn ja linkokuivatun lietteen laitoskompostointi tuottaa kasvualustaksi kelpavaa kompostia, joka korvaa turpeen käyttöä, jolloin vältetään kasvuturpeen tuotantokustannukset. Kustannussäästöjen osalta tarkastelu noudattaa biojätteen kompostoinnista (Bj 1) syntyviä säästöjä (Kuva 61), mutta hygienisointiin menevää lietetonna kohden ilmaistuna vältettyjen kustannusten määrä, noin euron, on mitätön (Kuva 82). Myös ympäristökustannukset ja -hyvitykset noudattavat luvun 3.4.1 tarkastelua, mutta ovat lietetonna kohden ilmaistuna merkityksettömät.

Yhteenlaskettuna neljä kustannuserää muodostavat yhteiskunnalle koituvat kokonaiskustannukset jätevesilietteen kemialliseen kunnostukseen siirtymisestä. Nettokustannus, 83 e/t, perustuu lähes täysin lietteen käsittely- ja hyödyntämisketjun kustannuksiin. Muiden kustannuserien vaikutus on olematon.



Kuva 81. Jätevesilietteen (L 4) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 82. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesiliete (L 4) käsitellään kemiallisesti, kompostoidaan ja käytetään viherrakentamisessa turpeen sijaan. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Jätevesilietteen hyödyntämisvaihtoehtojen yhteenveto ja vertailu

3.5.4.1

Hyödyntämisvaihtoehdoissa syntyvät CO₂-ekv-päästöt

Jätevesilietteen hyödyntämisvaihtoehtojen tuottamia CO₂-päästöjä hallitsevat mädätyksen vaatiman lämpö- ja sähköenergian päästöt. Mädätys vaatii prosessisähköä noin 60 MJ/t biojätettä ja lämpöenergiaa 240 MJ/t (Kuva 83, L 1 ja L 2), kun kompostoinnin energiatarve on kaikkineen noin 80 MJ/t (Kuva 83, L 4) (Myllymaa ym. 2008). Termisen kuivauksen energiatarve (Kuva 83, L 3) on noin 315 MJ/t (Myllymaa ym. 2008), eli energian kokonaiskulutus on samaa suuruusluokkaa kuin mädätyksessä. Siksi myös energian kulutus -elinkaarivaiheen CO₂-ekv-päästöt ovat vaihtoehdoissa L 1-3 samansuuruiset.

Termisen kuivauksen on oletettu käyttävän polttoaineenaan öljyä, jonka päästöt hallitsevat vaihtoehdossa L 3. Öljyn polton CO₂-päästöt on arvioitu käyttämällä Tilastokeskuksen ilmoittamaa öljyn polton päästökerrointa, 77,4 kg CO₂/t (Tilastokeskus 2005).

CO₂-ekv-päästötaseen kannalta tutkituista vaihtoehdoista paras tapa käsitellä liete on kuivata se termisesti ja polttaa hyvällä hyötysuhteella (L3). Mädätyksellä on myös selkeät hyödyt, jos metaanikaasu käytetään energiantuotannossa fossiilisten polttoaineiden sijaan. Pelkän kompostoinnin hyödyt jäävät pieniksi, kun hyvitykseksi luetaan vain turpeen tuotannon välttäminen.

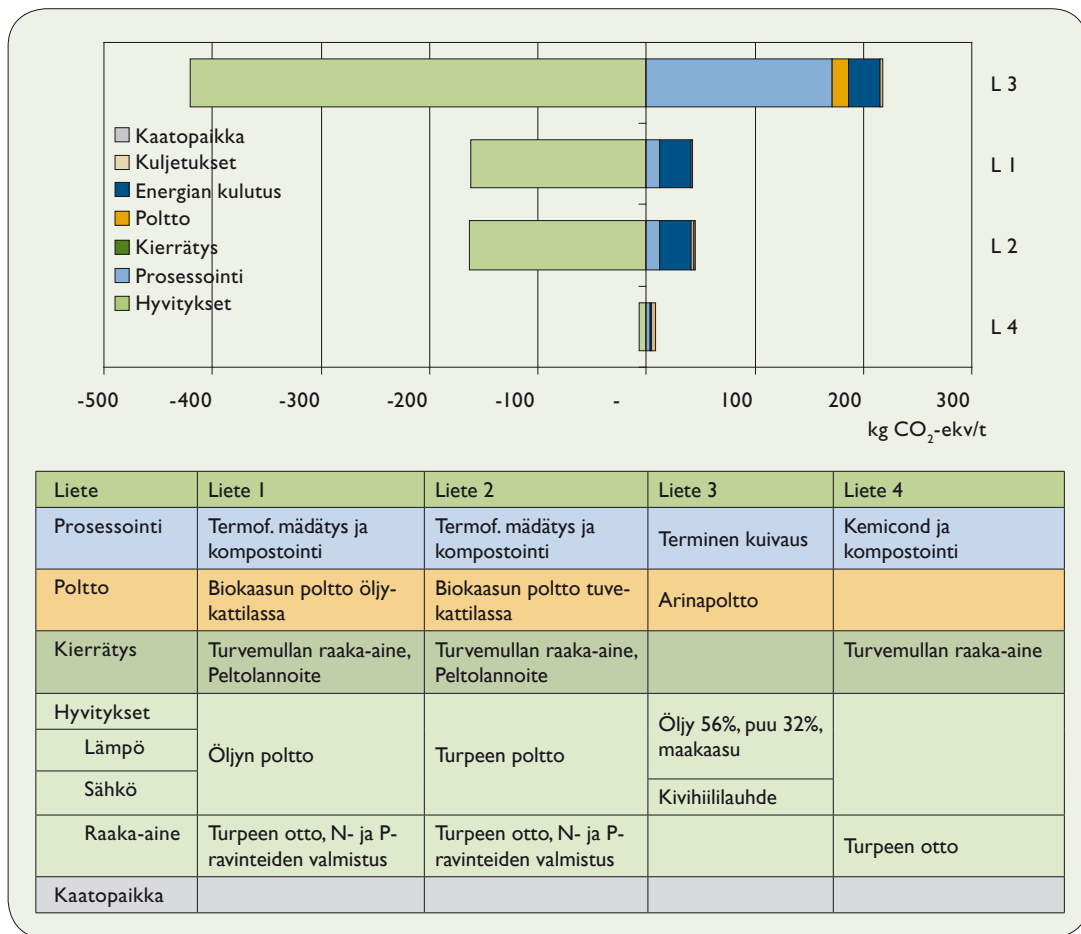
3.5.4.2

Hyödyntämisvaihtoehtojen vältetyt päästöt

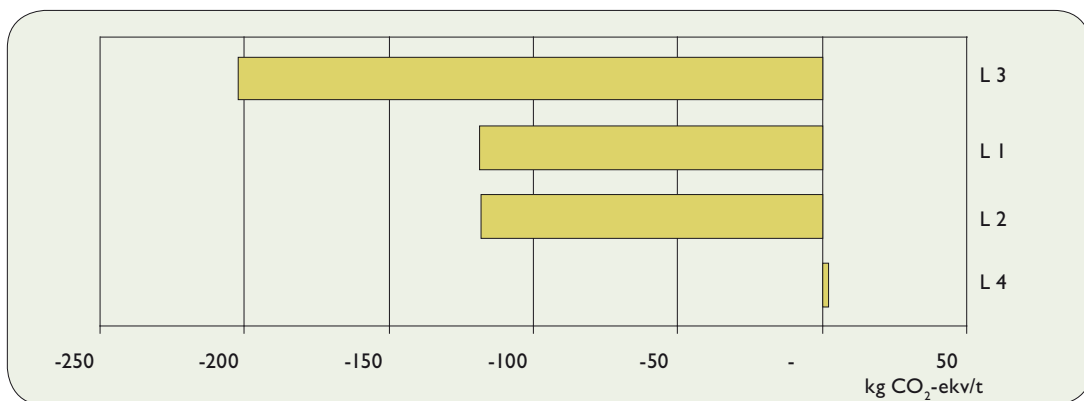
Hyvitysten suuruuden ratkaisee jälleen (yli 70 % osuudella) se, miten suuri osa jätemateriaalin energiasisällöstä hyödynnetään ja mitä polttoaineita korvaten se tehdään (L 1-L 3). Öljyn korvaamisella (L 1) saadaan käytännössä samansuuruiset CO₂-ekv-säästöt kuin turpeen polton korvaamisella (L 2). Vaikka turpeen päästökerroin onkin lähes kaksinkertainen (175 kg CO₂/GJ) öljyyn verrattuna (86 kg CO₂/GJ), ero jätetonnin kohti tasoittuu, kun metaanin energiasisällöstä saadaan turvekattilassa talteen vain 60 % mutta öljykattilassa 90 % (Myllymaa ym. 2008). Noin 9 % CO₂-hyvityksistä johtuu typ-pilannoitteen käytön välttämisestä. Pelkän turpeen käytön välttämällä säästettävät päästöt jäävät muihin käsittelyvaihtoehtoihin verrattuna vähäisiksi (L4).

Termisesti kuivatun lietteen energiasisältö (n. 15 MJ/kg) on vähän parempi kuin arvioitu sekajätteen energiasisältö (n. 11 MJ/kg), ja se vastaa lähinnä RDF-polttoainetta (n. 14 MJ/kg) (Myllymaa ym. 2008). Teollisuuslaitoksen yhteyteen perustetun arinapolttolaitoksen yhteydessä voidaan polttoaineen energiasisällöstä saada hyötykäyttöön lähes 90 %, joten säästöjä syntyy sen mukaisesti, kun sähkö hyvittää kivihiililauhdetta ja lämpö öljyä, puuta ja maakaasua. Vaikka hyvityksistä vähennetään termisen kuivauksen käyttämän öljyn polton päästöt (Kuva 84), hyvitys jää edelleen muita lietevaihtoehtoja suuremmaksi, koska lietteen polton CO₂-päästöt ovat bioperäisiä.

CO₂-ekv-päästötaseen kannalta tutkituista vaihtoehdoista paras tapa käsitellä liete on kuivata se termisesti ja polttaa hyvällä hyötysuhteella (L3). Mädätyksellä on myös selkeät hyödyt, jos metaanikaasu käytetään energiantuotannossa fossiilisten polttoaineiden sijaan. Pelkän kompostoinnin hyödyt jäävät pieniksi, kun hyvitykseksi luetaan vain turpeen tuotannon välttäminen.



Kuva 83. Lietteiden eri käsittelyketjujen CO₂-ekv-päästöt (kg) ilmoitettuna jätetonnin kohti. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 84. Jätevesiliikkeen käsittelyketjujen CO₂-ekv-nettopäästöt (kg) ilmoitettuna jätetonnin kohti.

3.5.4.3

Muut ympäristövaikutukset

Ilmastonmuutos on selvästi merkittävin potentiaalinen ympäristövaikutus lietteen eri käsittelyketjuissa. Muita, mutta vähemmän merkityksellisiä potentiaalisia vaikutuksia ovat hiukkasvaikutukset, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen, joiden aiheuttajia ovat kompostoinnin ammoniakkipäästöt ja energian käytön ja polton rikin ja typen oksidit. Lietteiden kemiallinen käsittely tuottaa pienimmän ympäristökuormituksen, mutta myös menetelmän saavat hyödyt ovat vaihtoehtoista vähäisimmät.

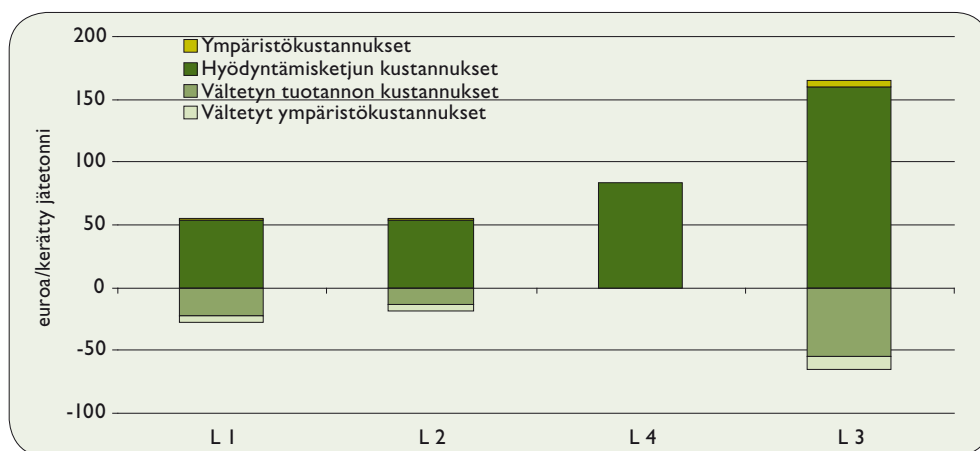
3.5.4.4

Kustannukset

Kustannustarkastelussa lietteiden käsittely- ja hyödyntämisvaihtoehtoista nousevat esiin käsittelyketjun synnyttämät yksityistaloudelliset kustannukset. Laitoskustannukset ovat jälleen sidottu alueellisen tarkastelun määrittämiin laitostyyppisiin, mikä heikentää tulosten yleistettävyyttä. Lietteiden laitosmädätyksen ja sitä seuraavan kompostoinnin (L 1 ja L 2) kuten myös lietteiden termisen kuivauksen ja arinapolton (L 3) käsittelyketjun osuus yhteiskunnallisista nettokustannuksista on noin 70 % (Kuva 85). Kemiallisen kunnostuksen ja sitä seuraavan kompostoinnin (L 4) osuus syntyvistä yhteiskunnallisista nettokustannuksista on 99 %, koska muut tarkastellut kustannuserät ovat lietteiden kohden olemattomat.

Kuljetuskustannukset käytetyillä kilometreillä (10, 40, 70) vaikuttavat käsittelykustannuksiin vain noin 2-10 %:n osuudella, joten lietteiden hyödyntämisessä kuljetusten osuus on pienempi kuin muilla tarkastelluilla jätealajeilla.

Lietteiden hyödyntäminen tuottaa taloudessa kustannussäästöjä edellyttäen, että sillä voidaan välttää muuta tuotantoa. Suurimmat kustannussäästöt syntyvät, jos liete korvaa öljyä, puuta ja maakaasua lämmöntuotannossa sekä kivihiltä sähköntuotannossa (L 3) (Kuva 85). Pelkän turpeen oton korvaaminen viherrakennuskäytössä (L 4) ei tuota mainittavia säästöjä, vaan vaatii rinnalleen myös polttoaineena käytettävän jyrshinturpeen (L 2) tai muun fossiilisen polttoaineen, tässä tapauksessa öljyn (L 1) korvaamista. Kustannussäästöjen muodostumisen kannalta tärkeintä onkin, että liete hyödyntämällä voidaan välttää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Vaikka turpeen korvaaminen energialähteenä synnyttää suurimmat päästökauppasäästöt turpeen suurimman CO₂-päästökertoimen vuoksi, eniten säästöjä saadaan, jos voidaan välttää markkinahinnaltaan kalleimman polttoaineen, öljyn, käyttöä.



Kuva 85. Jätevesilietteiden hyödyntämisvaihtoehtojen kokonaiskustannukset ja vältetyt kokonaiskustannukset jätetonnia kohti. Vasemmalla alhaisimmat nettokustannukset saanut ja oikealla suurimmat nettokustannukset saanut vaihtoehto.

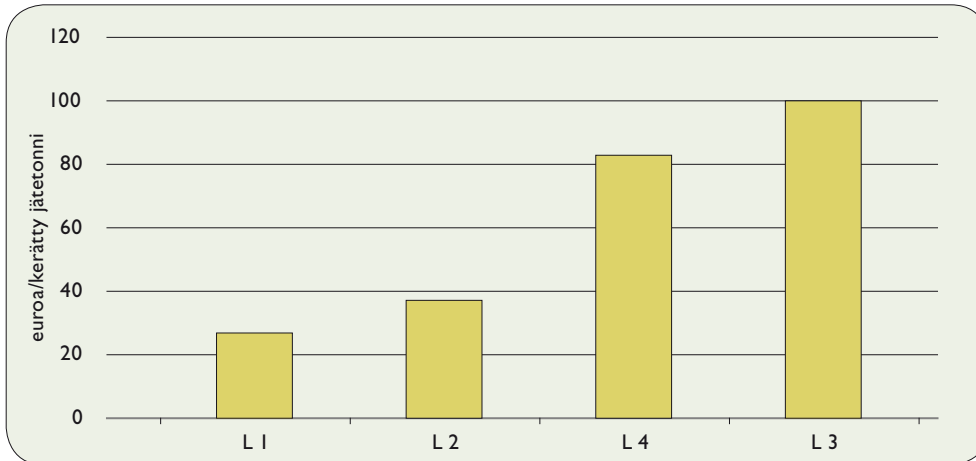
Turpeen oton ja polttoainehyvitysten lisäksi jätevesilietteen mädätyksessä erotettavaa nestettä voidaan käyttää peltolannoitteena (L1 ja L2). Taloudellinen hyvitys nesteen lannoitekäytöstä on laskettu suhteessa kemiallisesti valmistettuun yhdistelmälannoitteeseen (Pellon Y1). Kemiallisen lannoitteen valmistuksesta syntyvät tuotantokustannussäästöt muodostavat kaikista vältetyistä kustannuksista vain noin 15 % vaihtoehdossa L 1 ja noin 30 % vaihtoehdossa L 2. Jos kustannustarkastelussa oletettu lannoitehyvitys suhteessa kemiallisesti valmistettuihin lannoitteisiin jää käytännössä toteutumatta, nousee tarkasteltujen mädätysvaihtoehtojen (L 1 ja L 2) yhteiskunnallinen nettokustannus kummassakin tapauksessa reilut 10 %. Tällä ei ole käytännössä kuitenkaan merkitystä tarkasteltujen neljän vaihtoehdon keskinäiseen paremmuuteen.

Lannoitehyvityksen osalta on hyvä todeta, että tarkastelussa ei ole huomioitu lannoitteen levityksen synnyttämiä kustannusvaikutuksia, jotka ovat jäteperäiselle lannoitteelle kemiallista lannoitetta suuremmat jo siitä syystä, että levitettävän nesteen määrä on moninkertainen kemiallisen lannoitteen määrään nähden, ja lisäksi nesteen levittämiseksi on ajettava teollisen lannoitteen levittämiseen nähden ylimääräisiä kilometrejä, koska levitys ei onnistu esim. kylvön yhteydessä. Levityskustannusten huomioiminen ei ollut tämän hankkeen puitteissa mahdollista, mutta on hyvä pitää mielessä, että suuremmat levityskustannukset voivat kumota lannoitteista saatavan hyvityksen ja mahdollisesti jopa synnyttää lisäkustannuksia.

Päästöjen synnyttämien kustannusvaikutusten merkitys tulosten kannalta on jälleen kerran vähäinen. Lietteen hygienisointi kemiallisesti kunnostamalla (L 4) tuottaa olemattomat ympäristökustannukset. Myös mädätysvaihtoehdoissa (L 1 ja L 2) ympäristökustannusten osuus yhteiskunnallisista nettokustannuksista on vaatimaton, muutaman prosentin luokkaa. Kun lietteen hyödynnetään energiantuotannossa (L 3), ympäristökustannusten suuruusluokka nousee polttotarkastelujen rinnalle. Yhteiskunnalliseen nettokustannukseen termisesti kuivatun ja poltetun lietteen synnyttämällä ympäristökustannuksilla on kuitenkin vain noin viiden prosentin vaikutus.

Ympäristöhyvitysten eli vältettyjen ympäristökustannusten suuruus riippuu järjestelmän vältettyjen kustannusten tapaan siitä, mitä tuotteita ja mitä polttoaineita lietettä hyödyntämällä voidaan korvata. Jos lietettä hyötykäyttämällä saadaan korvattua vain turpeen ottoa kasvualustaksi (L 4), ovat saavutetut hyvitykset alle yhden euron lietetonnilta. Jos turpeen oton lisäksi vältetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä (L 1 ja L 2), saadaan noin viiden euron kustannussäästöt. Suurimmat vältetyt ympäristökustannukset saadaan siinä tapauksessa, että kuivattu liete hyödynnetään energiantuotannossa korvaamalla kivihiilen, öljyn, puun ja maakaasun polttoa (L 3).

Ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta otollisin käsittelyvaihtoehto, lietteen terminen kuivaus ja kuivatun lietteen hyödyntäminen energiantuotannossa (L 3) on kustannusvaikutuksiltaan kallein vaihtoehto (Kuva 86). Vaihtoehdon kalleus johtuu kuivaimen oletetusta polttoaineesta, öljystä. Myös muiden polttoaineiden käyttö kuivauksessa on mahdollista, jolloin myös kustannukset ovat alhaisemmat. CO₂-päästöjä nettomääräisesti synnyttävä vaihtoehto, lietteen käsittely kemiallisesti kunnostamalla, on tarkastelluista vaihtoehdoista toiseksi kallein. Taloudellisesta näkökulmasta kannattavinta on käsitellä jätevesilietteet mädättämällä ja hyödyntää mädäte kompostiksi turpeen käyttöä korvaamaan (L 1 ja L 2). Alhaisin nettokustannusvaikutus syntyy, jos mädätyskaasulla voidaan korvata öljyn käyttöä energiantuotannossa (L 1). Korvattavan energialähteen vaihtaminen öljystä turpeeseen synnyttää lähes 40 % suuremman nettokustannusvaikutuksen (L 2).



Kuva 86. Jätevesilietteen käsittelyketjujen yhteiskunnalliset nettokustannukset jätetonnin kohden ilmaistuna.

3.6

Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyt

3.6.1

Maatilamädätys ja lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa, viherrakentamisessa ja peltolannoitteena (L&Bj 1)

Jätevesilietettä ja biojätteitä voidaan käsitellä yhteisissä prosesseissa. Mahdollisia hyötyjä ovat mm., että jätevirrat yhdistämällä voidaan saada järkevä kokoluokan laitosratkaisuja, lyhentää kuljetusmatkoja ja tuoda vettä tarvitseviin prosesseihin (esim. märkämädätykseen) vettä suoraan raaka-aineiden mukana, jolloin lisäveden tarve pienenee.

Kun jätevesilietteet ja biojäte mädätetään (termofiilisissa olosuhteissa) maatalakokoluokan laitoksessa ja mädäte hyödynnetään suoraan pellolla, ei kompostointia välttämättä tarvita. Tällainen ratkaisu voisi soveltua maaseutupainotteiselle haja-asutusalueelle, jossa on kotieläintaloutta. Maatalakokoluokan laitoksessa mikroturbiini soveltuu mädätyskaasun energian hyödyntämiseen, jolloin lopputuotteena on sekä sähköä että lämpöä (Liite 2, Kuva 22). 1 000 tonnista syötemassaa saadaan mädätyksen jälkeen noin 290 t mädätettä käytettäväksi pellolla, kun taas biokaasusta saadaan mikroturbiinin avulla energiaa talteen noin 1 050 GJ, josta 44 % sähköä (Myllymaa ym. 2008). Mädätys itsessään kuluttaa vajaan kolmanneksen tuotetusta energiasta (Myllymaa ym. 2008).

Mädätteen ja siitä erotetun neste (rejektiveden) hyödyntämisen hyvytyksiksi lasketaan typpi- ja fosforiravinteiden käyttö pellossa lannoitteiden sijaan. Kun sekä nesteen että mädätteen sisältämät ravinteet toimitetaan peltoon, yhteen laskettu ravinteiden P:N suhde on noin 1:4,6, sillä seoksen kokonaistyyppipitoisuus on noin 0,35 % ja fosforipitoisuus noin 0,076 %. Yhdessä hyödynnettynä rejektiveden ja mädätteen ravinnepitoisuudet ovat siis hyvin lähellä pellon Y5-lannoitteen ravinnesuhdetta, joka on 22:5 eli 1:4,4 (Yara 2008).

Maatalakokoluokan energiantuotannolla ei pienen kapasiteettinsa vuoksi voida arvioida olevan kokonaisen olemassa olevan laitoksen toimintaan heijastuvia vaikutuksia, joten hyvityksinä tarkastellaan Suomen keskimääräisen lämmöntuotannon ja marginaalisähkön eli kivihiililauhteella tuotetun sähkön korvaamista.

Näillä oletuksilla saatavissa oleva potentiaalinen hyöty on noin 223 kg CO₂-ekv/tonni jätevesiliete-biojäteseosta ja nettohyödyksi saadaan noin 189 kg CO₂-ekv/tonni (Kuva 87). CO₂-hyvityksistä noin 60 % on peräisin kivihiililauhteen korvaamisesta (Taulukko 14).

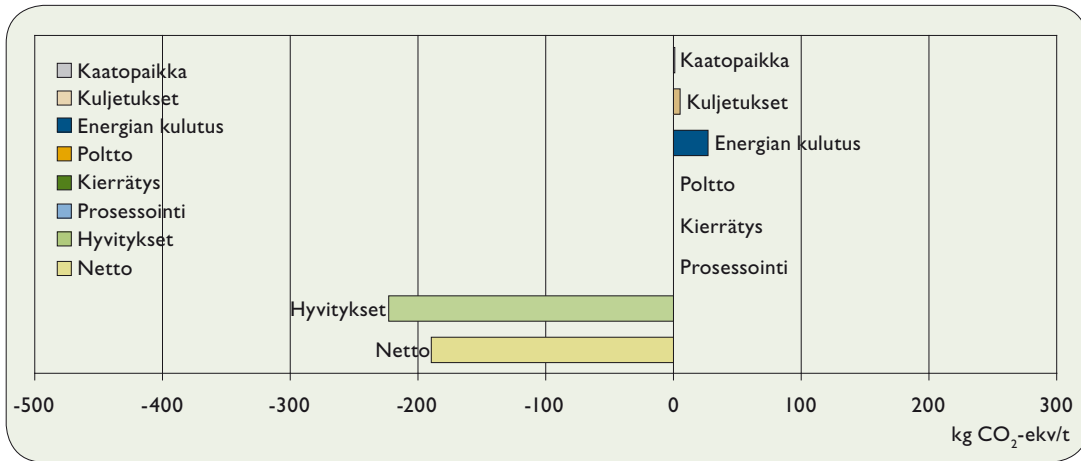
Lietteen ja biojätteen hyödyntämisen potentiaalisista ympäristövaikutuksista muut kuin ilmastonmuutos ovat melko vähäisiä (Kuva 88). Suurin merkitys on kulutetun energian tuottamien rikin oksidien hiukkasvaikutuksilla. Myös kuljetusten tyyppien ja rikin oksidipäästöt saattavat aiheuttaa hiukkasvaikutuksen lisäksi maaperän rehevöitymistä, happamoitumista ja kasvillisuuden otsonivaurioita.

Kustannustarkastelussa jätevesilietteen ja biojätteen seoksen käsitteleminen maatilakokoluokan mädättämössä (Myllymaa ym. 2008) alentaa koko käsittely- ja hyödyntämisketjun kustannuksia suhteessa kummankin jätejakeen erilliseen laitospäästökseen (Bj 2, L 1, L 2) (Kuva 60, Kuva 71) tai seoksen laitospäästökseen (L&Bj 2) (Kuva 93). Yhteenlaskettu kustannus koko käsittely- ja hyödyntämisketjulta on noin 40 e/seostonni (Kuva 89). Tähän vaikuttavat tekijät ovat lähinnä lyhyemmät kuljetusetäisyydet, pelkistetympään teknologiaan perustuvan mädättämön alhaisemmat investointi ja käyttökustannukset ja kompostoinnin tarpeettomuus. Maatilalla tapahtuvan mädätyksen osalta kustannustarkasteluun on sisällytetty mikroturbiinin pääoma- ja käyttökustannukset (Myllymaa ym. 2008).

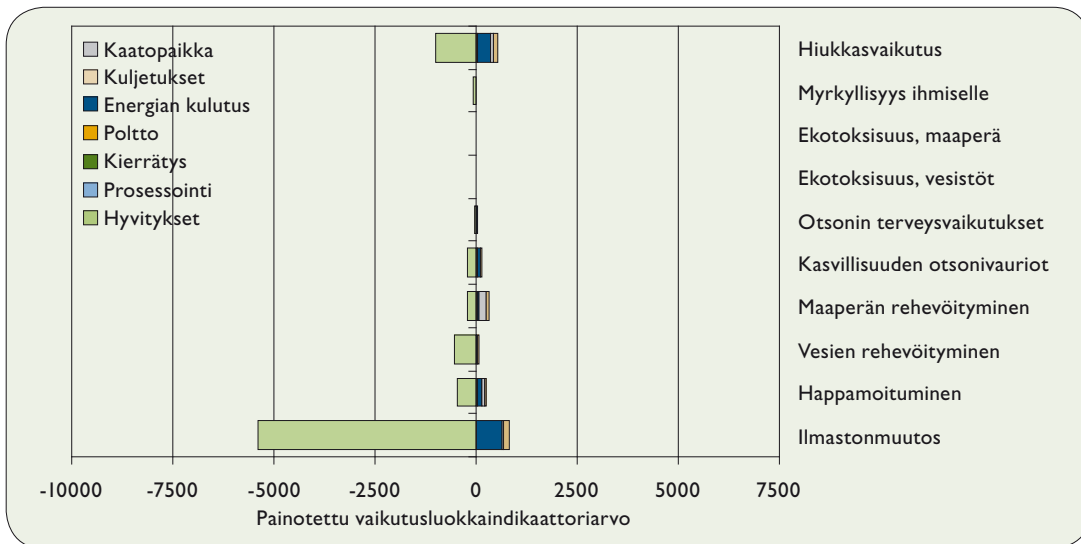
Jätteen noutotyön kustannusvaikutukset (11 e/t) (Kuva 89) ovat tarkasteltavassa vaihtoehdossa alhaisemmat kuin biojätteen mädätysvaihtoehdossa (Bj 2) (Kuva 60). Näin on siksi, että täysi kuorma kuljetetaan lähimpään mädättämöön, jolloin kuljetettu etäisyys on oletettu alhaisemmaksi (23 km). Noutotyön kustannuksista suurin osa syntyy kuitenkin pakkaavan jäteauton täyttämisestä eikä niinkään täyden lastin kuljetuksesta. Biojätteen noudon pienempää kuljetusmatkaa enemmän kustannukseen vaikuttaakin se, että lietteelle ei tarvita samanlaista noutotyötä, ja noudon kustannus on jaettu biojätteen ja jätevesilietteen seoksen määrällä tonnikohtaisen kustannuksen muodostamiseksi.

Taulukko 14. Lietteen ja biojätteen (L&Bj 1) hyvitysten alkuperä toiminnoittain.

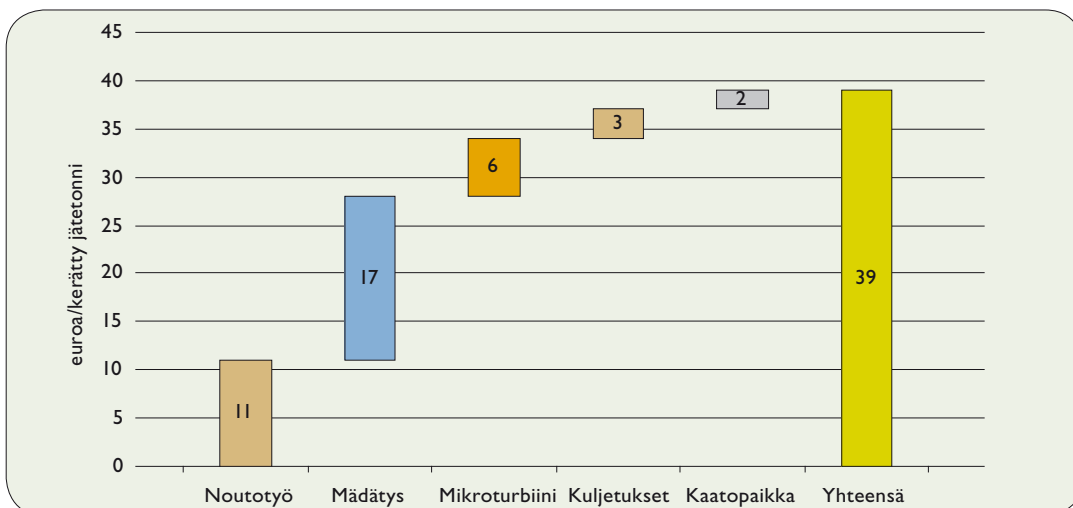
Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kuljetukset, yhteensä	-36	0 %
Fosforilannoitteen valmistus	-535	-0 %
Kivihiilen louhinta	-7 293	-4 %
Typpilannoitteen valmistus	-13 221	-7 %
Kaukolämpö (Suomi ka)	-47 453	-25 %
Sähkön tuotanto, kivihiililauhde	-118 732	-63 %
	-187 270	



Kuva 87. CO₂-ekv-päästöt (kg) jätevesiliete- ja biojäteseostonnin kohti (L&Bj I), kun jäte mädätetään ja mädätyskaasu hyödynnetään energiaksi keskimääräisen suomalaisen lämmöntuotannon ja kivihiililauhdesähkön sijaan ja mädäte hyödynnetään pellolla ravinteena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 88. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätevesilietteen ja biojätteen seos mädätetään maatalokoluokan mädättämössä ja mädätyskaasu hyödynnetään energiaksi keskimääräisen suomalaisen lämmöntuotannon ja kivihiililauhdesähkön sijaan ja mädäte hyödynnetään pellolla ravinteena (L&Bj I). Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina



Kuva 89. Jätevesilietteen ja biojätteen seoksen (L&Bj I) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonnia kohden ilmaistuna.

Maatilalla mädätettävästä jätevesilietteen ja biojätteen seoksesta saadaan tuotettua sähköä ja lämpöä. Lisäksi mädäte ja mädätteestä erotettu neste voidaan käyttää pellolla kemiallisesti valmistetun peltolannoitteen sijaan. Kun tuotetulla sähköllä oletetaan korvattavan sähköntuotantoa kivihiililauhteella ja lämmöllä Suomen keskimääräistä lämmöntuotantoa, ovat energiantuotannon vältetyt kustannukset noin 25 e/seostonni. Jos mädätyksen tuottamien ravinteiden voidaan olettaa korvaavan peltolannoituksessa yhdistelmälannoitetta Pellon Y5 (Myllymaa ym. 2008), saadaan lisäksi noin 6 euron hyvitykset, yhteensä siis 31 euroa mädätetyltä seostonnilta (Kuva 90).

Ympäristökustannukset maatilakokoluokan mädätyksestä syntyvät 75 %:n osuudella ilmastonmuutosvaikutuksesta, noin 15 %:n osuudella typen ja rikin oksidien synnyttämistä hiukkasvaikutuksista ja noin 10 %:n osuudella pienhiukkasten aiheuttamista haitallisista vaikutuksista. Vältetyistä ympäristökustannuksista merkittävimpiä ovat kivihiilen poltosta ja keskimääräisestä lämmöntuotannosta vältetyt CO₂-ekv. päästöt. Muiden hyvitysten kustannusvaikutus on vaatimaton.

Yhteenlaskettuna jätevesilietteen ja biojätteen seosmädätyksen käsittelyn ja hyödyntämisen kustannukset, vältetyn tuotannon kustannukset ja yhteenlasketut ympäristönnettokustannukset muodostavat noin neljän euron negatiivisen kustannusvaikutuksen (Kuva 90).

3.6.2

Mädätys ja kompostointi

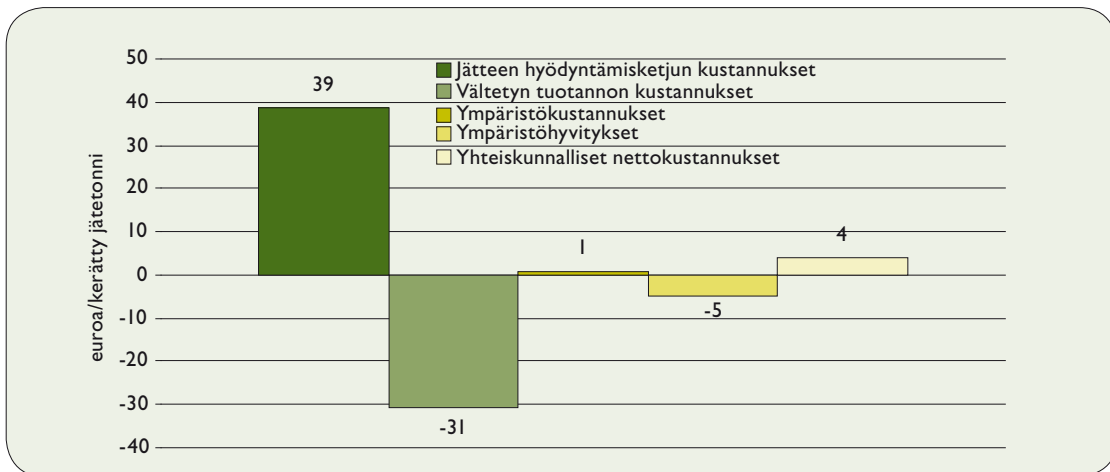
3.6.2.1

Lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa, viherrakentamisessa ja peltolannoitteena (L&Bj 2)

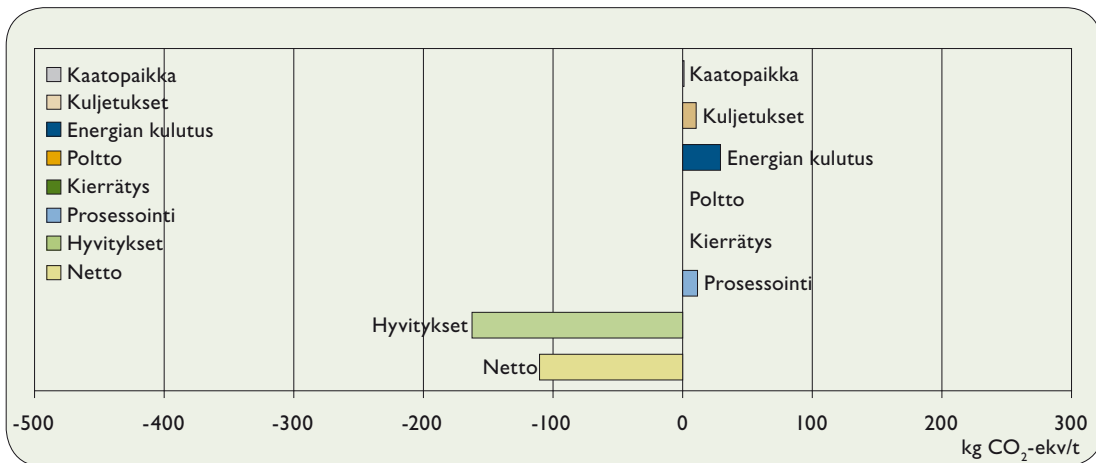
Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyvaihtoehdoista toinen on perinteinen laitosmädätys, jota seuraa mädätteen kompostointi ja lopputuotteiden – mädätteen ja mädätteestä erotetun rejektiveden – hyödyntäminen turvemullan raaka-aineena ja peltoravinteena (Liite 2, Kuva 23) Tuotettu biokaasu poltetaan turvekattilassa turpeen sijaan, jolloin vältetään turpeen polton ja turpeen oton päästöt. 1000 tonnista syötemassaa saadaan edellisen vaihtoehdon tavoin mädätyksen jälkeen noin 290 t mädätettä, josta kompostoinnin jälkeen jää käytettäväksi viherrakentamisessa noin 190 t. Turvekattilassa poltettuna mädätyskaasusta saadaan tuotettua energiaa noin 550 GJ.

Mädätyksen jälkeen lingolla erotetun rejektiveden ravinnepitoisuudet ovat noin 0,373 % typpeä ja 0,033 % fosforia, jolloin nesteen P:N-ravintesuhteeksi tulee 1:11. Tämä on melko lähellä pellolla käytettävän Y1 N-P-K-yhdistelmälannoitteen (26-2-3) fosforin ja typen ravintesuhdetta, joka on 1:13 (Yara 2008).

Turpeen oton ja polton välttämällä saavutetaan hyödyntämisketjussa merkittävimmät CO₂-hyödyt: hyvitysten suuruus on noin 163 kg CO₂-ekv/tonni jätevesiliete-biojäteseosta, ja tästä 85 % on peräisin turpeen oton ja polton välttämisestä. Nettohyödyksi saadaan 110 kg CO₂-ekv/tonni jätevesiliete-biojäteseosta. CO₂-hyvityksistä noin 70 % on peräisin turpeen polton korvaamisesta (Taulukko 15).



Kuva 90. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesilietteen ja biojätteen seos (L&Bj 1) mädätetään maatilakokoluokan mädättämössä ja mädätyskaasu hyödynnetään energiaksi keskimääräisen suomalaisen lämmöntuotannon ja kivihiililauhdesähkön sijaan ja mädäte hyödynnetään pellolla ravinteena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.



Kuva 91. CO₂-ekv-päästöt (kg) jätevesiliete- ja biojätteseastonnia (L&Bj 2) kohti, kun jäte mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan, peltolannoitteena ja viherrakentamisessa kasvualueen raaka-aineena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

Taulukko 15. Lietteen ja biojätteen (L&Bj 2) hyvitysten alkuperä toiminnoittain.

Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kuljetukset, yhteensä	-21	0 %
P-lannoitteiden tuotanto	-214	0 %
Turpeen otto, biokaasu	-7 897	6 %
N-lannoitteiden tuotanto	-11 371	9 %
Turpeen otto, viherrakentamiseen	-16 167	12 %
Turpeen poltto, mädätyskaasu	-96 706	73 %
	-132 376	

Ilmastonmuutosvaikutusten lisäksi lietteen ja biojätteen seoksen käsittely mädättämällä ja kompostoimalla voi aiheuttaa myös eräitä muita ympäristövaikutuksia, joista merkittävimmät ovat hiukkasvaikutus, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen (Kuva 92). Kompostointivaihe lisää hiukkasvaikutuksia ja maaperän rehevöitymistä aiheuttavia ammoniakkipäästöjä, mikä on suurin ero maatilakäsittelyn ja mädätys-kompostointi-yhdistelmän välillä (Kuva 88). Merkittävät hyvitykset hiukkas- ja happamoitusvaikutusluokissa ovat seurausta lähinnä turpeenpolton typenoksidipäästöjen välttämisestä. Keskitetty toiminta lisää kuljetuksia hajasijoitettuun maatilatoimintaan verrattuna, mikä erottuu suurempina hiilidioksidin, typpioksidien ja rikin oksidien päästöinä ja näistä aiheutuvina ympäristövaikutuksina.

Jätevesilietteen ja biojätteen laitospolton mädätyksen ja sitä seuraavan kompostoinnin kustannukset on laskettu samoja vertailulaitoksia hyödyntäen kuin pelkkää biojätettä (Bj 2) (Kuva 64) tai pelkkää lietettä mädätettäessä (L 1, L 2) (Kuva 71). Käsittelyn ja hyödyntämisen kustannukset eroavatkin mainituista tarkasteluista vain siltä osin kuin, mitä alueelliset erot synnyttävät prosessien skaalauksissa ja kuljetusestäisyyksissä. Prosessointikustannusten osalta ei ole katsottu tarpeelliseksi tarkastella niitä pieniä eroja, joita mahdollisesti syntyy syötetyypistä riippuen.

Biojätteen ja lietteen yhteiskäsittelyn noutotyön kustannukset ovat alhaisemmat kuin pelkällä biojätteellä (Bj 2) (Kuva 64), mutta suuremmat kuin pelkällä lietteellä (L 1, L 2) (Kuva 71), koska biojätteen noutotyön ja lietteen kuljetuksen kustannukset on jaettu koko seosmassan määrällä. Yhteenlaskettuina noudon, prosessoinnin, rejektiveden ja valmiin lopputuotteen kuljetuksen ja kiinteän ylijäämän kaatopaikkasijoittamisen kustannukset ovat seostonnilta noin 70 euroa (Kuva 93).

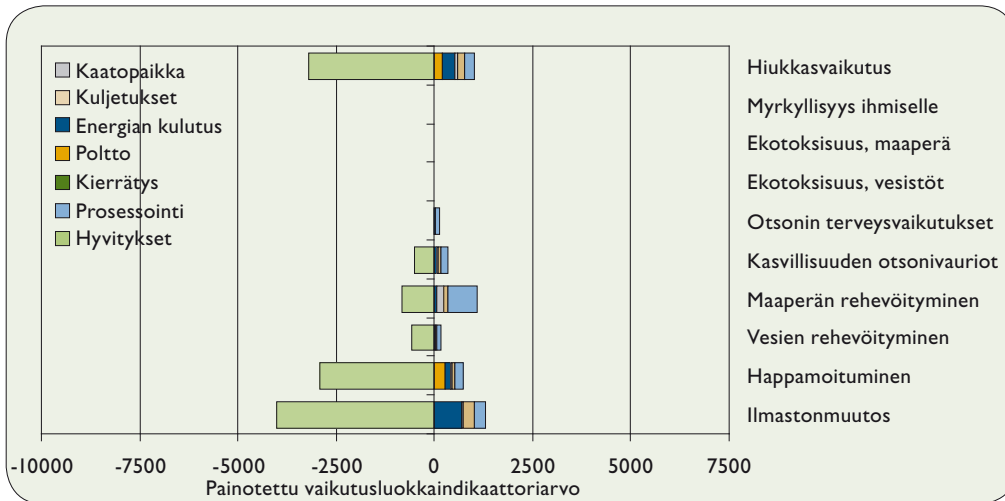
Kun jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyn oletetaan tuottavan kolmea lopputuotetta, biokaasua korvaamaan turvetta energialähteenä, kompostia korvaamaan turvetta viherrakentamisessa ja nestemäistä ravinneliuosta korvaamaan kemiallisesti tuotettua peltolannoitetta, ovat vältetystä tuotannosta syntyvät kustannussäästöt täysin samat kuin lietteen osalta tarkastellussa vaihtoehdossa L 2 (luku 3.5.1.2). Myös hyödyntämisketjun tuottamat ympäristökustannukset ja vältetyn tuotannon toteutumatta jääneet ympäristökustannukset ovat yhtenevät vaihtoehdon L 2 tarkastelun kanssa (Kuva 74).

Tarkasteltujen kustannuserien nettona muodostama yhteiskunnallinen kustannusvaikutus on noin 50 euroa jätevesilietteen ja biojätteen seostonnilta (Kuva 94). Yhteiskunnassa syntyvä kustannusvaikutus on siten noin 40 % korkeampi kuin pelkän lietteen (L 2) vastaavan järjestelmän synnyttämä kustannus. Ero tarkasteltujen vaihtoehtojen välillä syntyy pääosin biojätteen noudon aiheuttamasta kustannuslisästä.

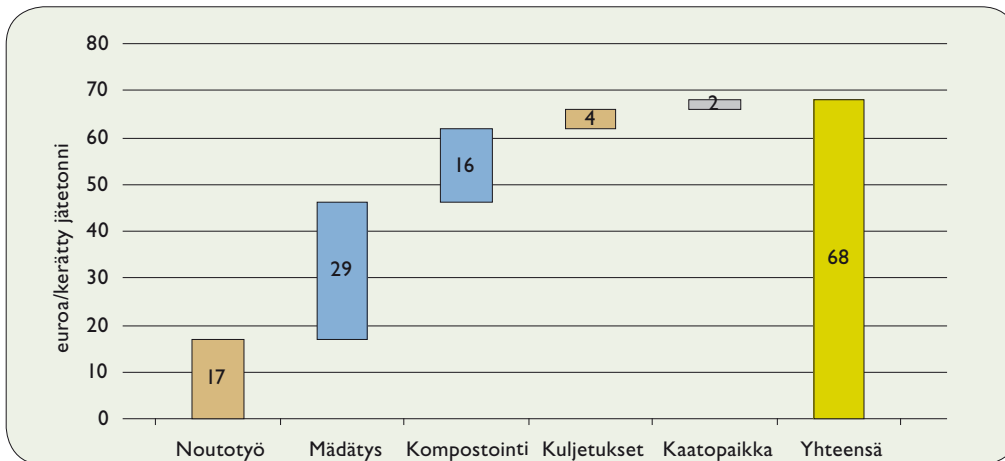
3.6.2.2

Lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa ja viherrakentamisessa (L&Bj 3)

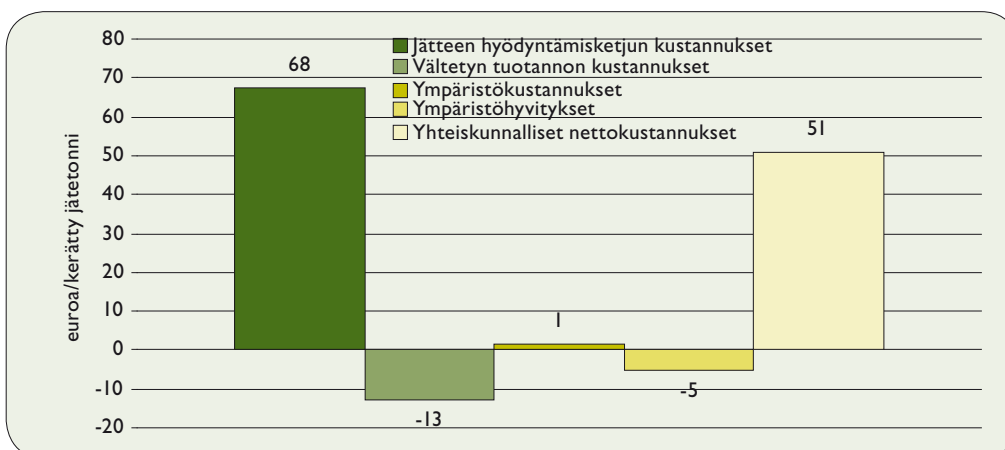
Kolmas jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyvaihtoehdoista on laitospolton ja kompostoinnin yhdistelmä, jossa kompostoitu mädäte hyödynnetään turvemullan raaka-aineena ja tuotettu biokaasu poltetaan öljykattilassa öljyn sijaan (Liite 2, Kuva 24). 1 000 tonnista syötemassaa jää mädätyksen jälkeen noin 290 t mädätettä, josta kompostoinnin jälkeen jää käytettäväksi viherrakentamisessa noin 190 t. Öljykattilassa poltettuna mädätyskaasusta saadaan tuotettua energiaa noin 1 100 GJ.



Kuva 92. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun liete-biojäteseos (L&Bj 2) mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan, peltolannoitteena ja viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 93. Jätevesilietteen ja biojätteen seoksen (L&Bj 2) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.



Kuva 94. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesilietteen ja biojätteen seos (L&Bj 2) mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan, peltolannoitteena ja viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Öljyn polton välttämällä saavutetaan merkittävimmät hyödyt: hyvitysten suuruus on noin 117 kg CO₂-ekv / tonni jätevesiliete-biojäteseosta. Nettohyödyksi saadaan 72 kg CO₂-ekv / tonni jätevesiliete-biojäteseosta. CO₂-hyvityksistä noin 84 % on peräisin öljyn polton korvaamisesta (Taulukko 16).

Öljyn polttoa korvattaessa lietteen ja biojätteen seoksen käsittelyn päästöjen aiheuttamat potentiaaliset ympäristövaikutukset (Kuva 96) ovat lähes identtiset verrattuna vaihtoehtoon, jossa korvataan turpeen polttoa (L&Bj 2) (Kuva 92). Erot näkyvät hyvityksissä: turpeen polton välttämällä saavutetaan suuremmat hiilidioksidiekvivalentti- ja NO_x-päästöjen säästöt, mutta öljyn polton välttämällä puolestaan hyödytään enemmän happamoitumista aiheuttavien rikin oksidien jäädessä syntymättä.

Yhteiskunnassa syntyvä nettomääräinen kustannusvaikutus on 55 e/seostonni (Kuva 97), kun jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittely tuottaa mädätyskaasua ja kompostia, ja kaasun oletetaan korvaavan öljyä energiantuotannossa ja kompostin kasvuturvetta viherrakentamisessa. Nettokustannus on näin ollen 3 euroa eli noin viisi prosenttia suurempi kuin järjestelmässä, jossa mädätteestä erotetun nestemäisen ravinneliuoksen oletetaan soveltuvan korvaamaan kemiallista lannoitetta peltolannoituksessa (L&Bj 2) (Kuva 94).

Jätevesilietteen ja biojätteen käsittely- ja hyödyntämisketjun kustannukset (76 e/t) ovat tarkastellussa järjestelmässä kuitenkin noin 10 % suuremmat kuin vaihtoehdossa L & Bj 2. Tämä johtuu sekä pienistä eroista eri alueiden kuljetusetäisyyksissä, biojätteen noudon kustannuksissa, kaatopaikkasijoittamisen kustannuksissa ja laitoskokojen synnyttämässä skaalavaikutuksissa, mutta merkittävimmin ero syntyy, koska seoksena käsiteltävien jätevesilietteen ja biojätteen keskinäinen suhde on varsin erilainen kahdessa tarkastellussa vaihtoehdossa. Edellä tarkastellussa vaihtoehdossa (L&Bj 2) biojätteen ja lietteen suhdeluku on 0,2, kun taas nyt tarkasteltavassa vaihtoehdossa suhde on 0,85. Tämä tarkoittaa, että nykyinen tarkastelu, jossa biojätettä on enemmän suhteessa lietteen määrään, on hyödyntämisketjun kustannuksilta kalliimpi, koska biojätteen noudon kustannusvaikutus on koko seoksen osalta suurempi.

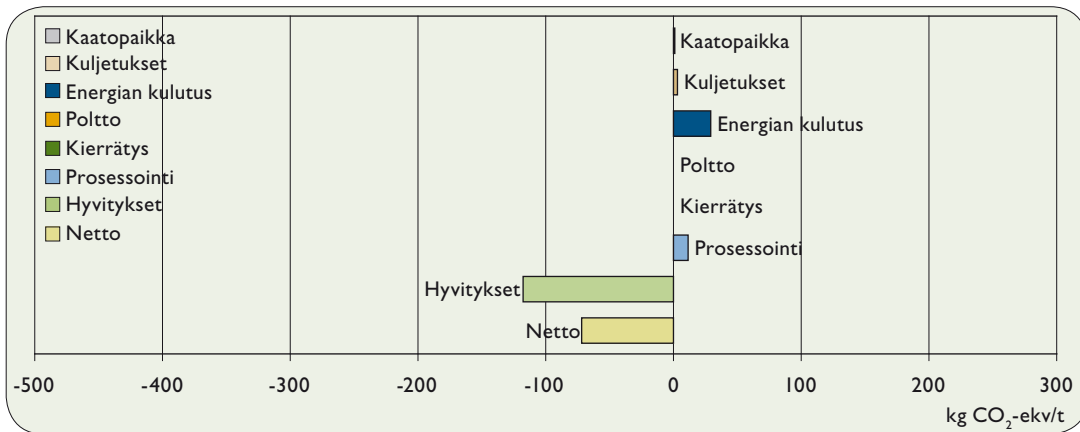
Mädätyksestä ja kompostoinnista lopputuotteena saatavat biokaasu ja komposti korvaavat öljyn käyttöä energialähteenä ja turvetta kasvualustakäytössä. Vältetyt kustannukset, 19 e/seostonni, ovat isommat kuin järjestelmässä, jossa korvataan kolmea lopputuotetta (L&Bj 2) (Kuva 94), mutta öljyn sijaan korvattava energialähde on turve. Polttoaineen markkinahinnan vaikutus onkin vältettyjen kustannusten määräytymisessä oleellinen: kalliimpi polttoaine, öljy, synnyttää enemmän nettohyötyjä kuin turve, vaikka turpeen osalta päästökaupan kustannusvaikutus on suurempi. Öljyn polton korvaaminen riittää myös ylittämään lannoitehyvityksestä syntyvät kustannussäästöt vaihtoehdossa (L&Bj 2).

Tarkasteltavaa vaihtoehtoa voidaan myös verrata pelkän lietteen mädätysvaihtoehtoon (L 1), jossa korvataan nyt korvattujen öljyn ja kasvuturpeen lisäksi kemiallista lannoitetta (luku 3.5.1.1). Vältettyjen kustannusten määrä kolmella korvattavalla lopputuotteella, ja kun polttoainekorvaavuus on sama, on 20 % suurempi eli juuri lannoitehyvityksen verran (Kuva 72).

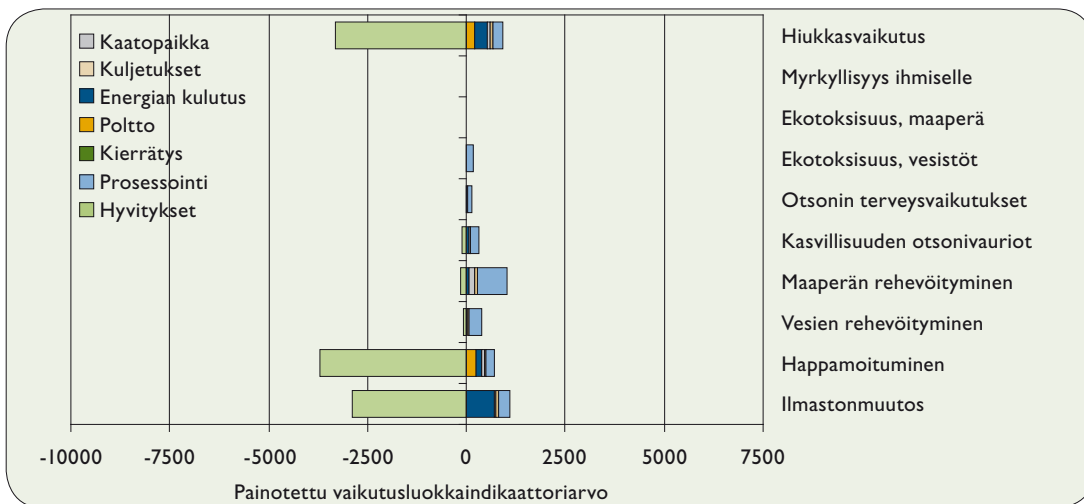
Ympäristökustannuksia mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmä synnyttää vähäisestikin - kuten muissakin tarkastelluissa mädätysvaihtoehdoissa. Vältetyt ympäristökustannukset perustuvat pääasiallisesti öljyn poltossa vältettyjen CO₂-ekv. päästöjen (55 %) ja SO₂-päästöjen (40 %) vaikutuksiin.

Taulukko 16. Lietteen ja biojätteen (L&Bj 3) hyvitysten alkuperä toiminnoittain.

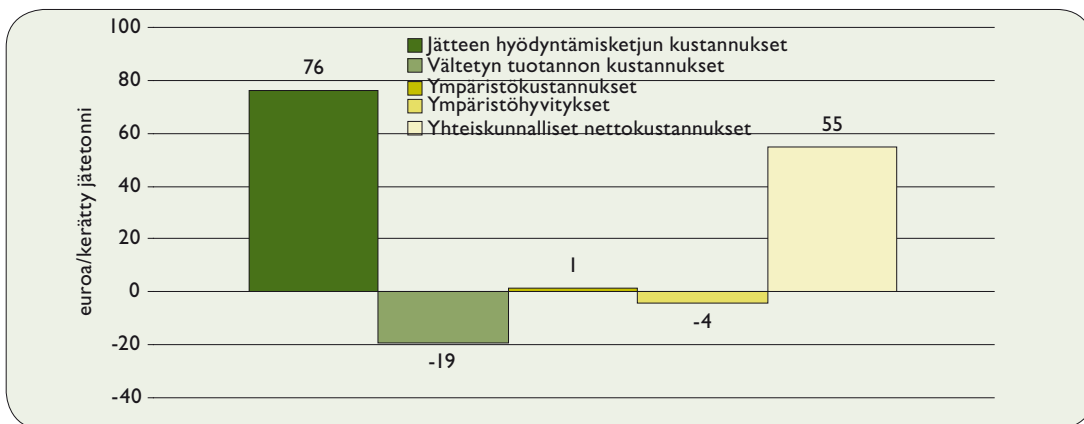
Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kuljetukset, yhteensä	-26	0 %
Raskaan polttoöljyn tuotanto	-8 623	7 %
Turpeen otto	-9 752	8 %
Öljyn poltto	-97 979	84 %
	-116 380	



Kuva 95. CO₂-ekv-päästöt (kg) jätevesiliete- ja biojäteseostonna (L&Bj 3) kohti, kun jäte mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa öljyn sijaan ja viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 96. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jätevesiliete- ja biojäteseos (L&Bj 3) mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa öljyn sijaan ja viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena. Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



Kuva 97. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvatuun tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesiliete- ja biojätteen seos (L&Bj 3) mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa öljyn sijaan ja viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

3.6.3

Terminen kuivaus ja lopputuotteiden käyttö energian tuotannossa ja metsälannoitteena (L&Bj 4)

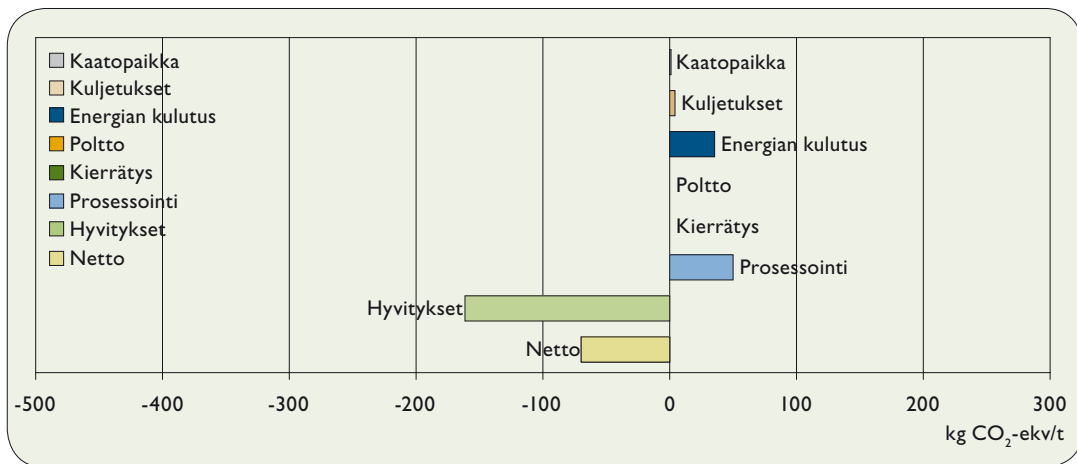
Neljännessä jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyvaihtoehdossa jäte mädätetään ja kuivataan termisesti. Kuivattu materiaali hyödynnetään metsälannoitteen raaka-aineena, mädätteestä linkoamalla ennen termistä kuivausta erotettu neste peltolannoitteena ja tuotettu biokaasu poltetaan turvekattilassa (Liite 2, Kuva 25). Termisesti kuivatun mädätteen prosessointi metsälannoitteeksi valittiin yhdeksi tutkittavaksi hyödyntämisketjuksi sen vuoksi, että kyseinen ratkaisu on ollut suunnitteilla ja koe-käytössä (Pohjois-Karjalan alueella).

Massana 1 000 tonnista syötemassaa jää mädätyksen jälkeen noin 290 t mädätettä, josta termisen kuivauksen jälkeen jää käytettäväksi metsälannoitteeksi noin 90 t. Turvekattilassa poltettuna mädätyskaasusta saadaan tuotettua energiaa noin 550 GJ.

Turpeen polton välttämällä saavutetaan merkittävimmät hyödyt: hyvitysten suuruus on noin 122 kg CO₂-ekv/tonni jätevesiliete-biojätteseosta (Kuva 98), ja CO₂-hyvityksistä noin 80 % on peräisin turpeen polton korvaamisesta (Taulukko 17). Nettohyödyksi saadaan noin 70 kg CO₂-ekv/tonni jätevesiliete-biojätteseosta.

Taulukko 17. Lietteen ja biojätteen (L&Bj 4) hyvitysten alkuperä toiminnoittain.

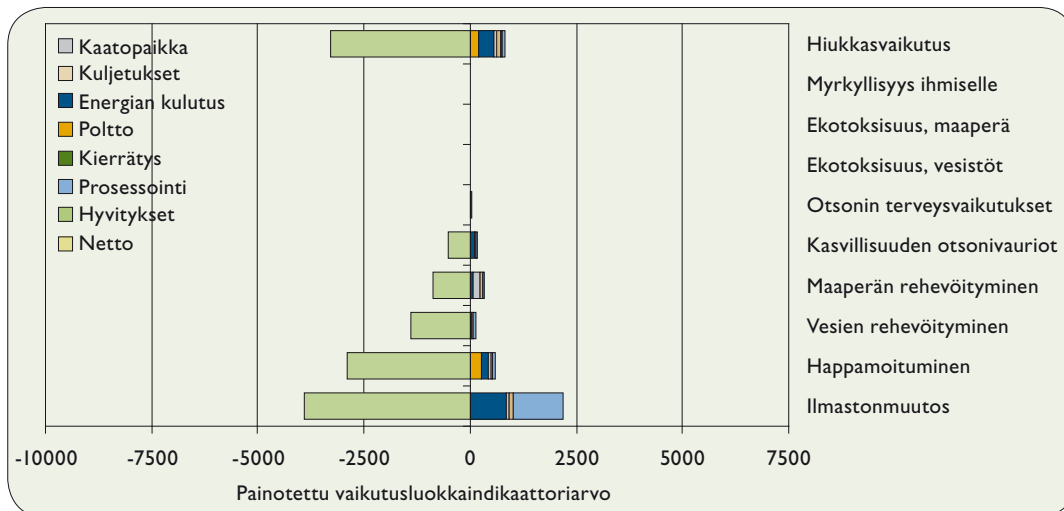
Hyvityspäästöjen alkuperä:	CO ₂ , kg/1000 t	
Kuljetukset, yhteensä	-12	0 %
Fosforilannoitteen valmistus	-1 318	1 %
Turpeen otto	-7 897	7 %
Typpilannoitteen valmistus	-16 332	13 %
Turpeen poltto	-96 706	79 %
	-122 266	



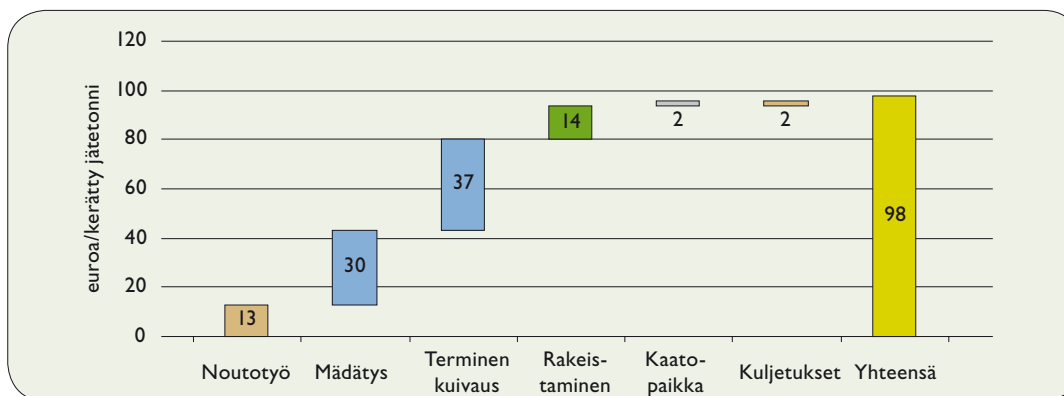
Kuva 98. CO₂-ekv-päästöt (kg) jätevesiliete- ja biojätteseostonia (L&Bj 4) kohti, kun jäte mädätetään, kuivataan termisesti ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan ja metsä- ja peltolannoitteena. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.

Käsittelyketjun aiheuttamista ympäristövaikutuksista esiin nousevat ilmastonmuutosvaikutusten ohella lähinnä happamoituminen ja hiukkasvaikutukset (Kuva 99). Hyvityksiä saadaan happamoitumisen, hiukkasvaikutusten sekä vesistöjen rehevöitymisen vaikutusluokissa, joissa vaikutukset pienenevät lähinnä typen ja rikin oksidien välttämisen myötä. Suurin osa säästöistä johtuu turpeen polton välttämisestä. Lannoitteiden valmistuksen välttämisen osuus on noin 4 % SO_x-säästöistä ja 12 % NO_x-päästöistä.

Jätevesilietteen ja biojätteen seoksen hyödyntäminen ensin energiaksi mädättämällä, mädätysvesien hyödyntäminen peltolannoitteena ja mädätteen terminen kuivaus ja rakeistus metsälannoitteeksi aiheuttaa noin 100 euron kustannukset seostonnia kohden (Kuva 100). Mädätyksen kustannukset yksikköä kohden ovat likimain yhtä suuret kuin muissa tarkastelluissa mädätysvaihtoehdoissa. Mädätystä huomattavasti kalliimpaa on mädätteen terminen kuivaus öljyllä (n. 120 e/syötetonne). Kuivatun seoksen rakeistaminen puolestaan kattaa käsittelyketjun kustannuksista noin 15 % ja on kuivatua syötetonna kohden n. 20 euroa. (Myllymaa ym. 2008.) Noutotyön osalta järjestelmä noudattaa muiden jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyiden yhteydessä esitettyjä perusteluita.



Kuva 99. Merkittävimmät ympäristövaikutukset, kun jäte mädätetään, kuivataan termisesti ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan ja metsä- ja peltolannoitteena (L&Bj 4). Hyödyntämisketjun tuottamat vaikutukset näkyvät positiivisina ja hyödyntämisen johdosta vältettävät vaikutukset negatiivisina.



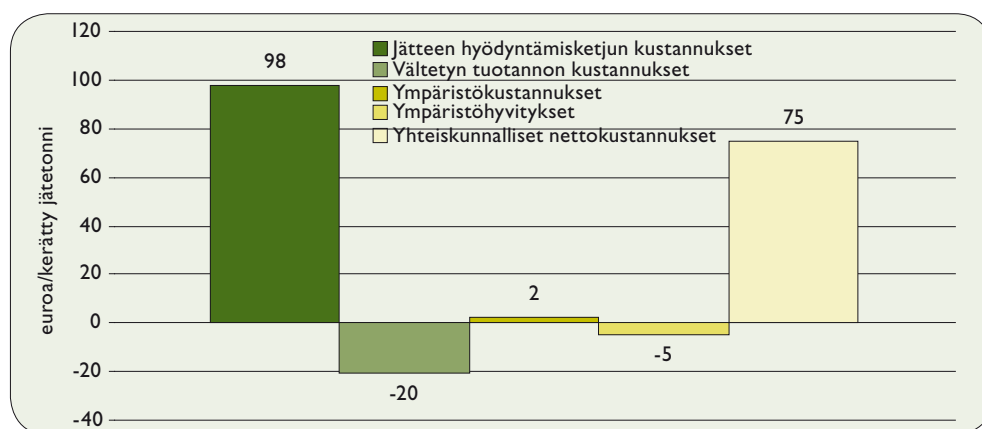
Kuva 100. Jätevesilietteen ja biojätteen seoksen (L&Bj 4) hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheille kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna.

Hyödyntämisketjun kustannusten lisäksi yhteiskunnassa syntyvän nettokustannusvaikutuksen muodostumiseen vaikuttavat kolme muuta kustannuserää (Kuva 101). Kaikki kustannuserät huomioiden yhteiskunnassa syntyvä nettokustannus jätevesilietteen ja biojätteen mädätykseen, termiseen kuivaukseen ja rakeistamiseen siirtymisestä on positiivinen, n. 75 e/seostonni.

Vältetyn tuotannon kustannukset (20 e/t) koostuvat noin 35 %:n osuudella bio-kaasuhyvityksestä, noin 20 %:n osuudella kemiallisen peltolannoitteen korvaamisesta ja loput kustannussäästöt, noin 45 %, syntyvät kemiallisen metsälannoitteen korvaamisesta. Peltolannoitteen osalta korvaavuutta on tarkasteltu jo mainittuun Pellon Y1-lannoitteeseen, metsälannoitteen osalta puolestaan korvaavuus on haettu suhteessa Metsän Rauta PK- ja Suomensalpietarilannoitteisiin (Myllymaa ym. 2008).

Käsittelyketjun prosessit ja niiden kuluttama energia synnyttävät määrällisesti kolme neljäsosaa kaikista ilmastomuutoksen aiheuttamista ympäristökustannuksista. CO₂-ekv. päästöt puolestaan kattavat yli 80 % kaikista syntyvistä ympäristökustannuksista. Rikkidioksidin, typen oksidien ja pienhiukkasten aiheuttamat ympäristön laadun muutokset synnyttävät kustannuksia kukin reilun 5 %:n osuudella. Kokonaisuudessaan ympäristökustannusten vaikutus on jälleen vähäinen, joskin kaksinkertainen verrattuna jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyn vaihtoehtoihin, joissa ei ole termisen kuivauksen synnyttämiä päästövaikutuksia.

Korvattavan tuotannon, ravinnetuotannon ja turpeen oton, vältetyt ympäristökustannukset koostuvat - kuten muissakin tarkasteluissa - valtaosin ilmastomuutosvaikutuksen välttämiseksi. Happamoittavien ja rehevöittävien päästöjen kustannusvaikutukset kattavat kaikista vältetyistä ympäristökustannuksista yhteensä noin 35 %.



Kuva 101. Yhteiskunnalliset nettokustannukset ja kustannusten jakautuminen hyödyntämisketjun kustannuksiin, korvattavan tuotannon vältettyihin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja -hyvityksiin, kun jätevesilietteen ja biojätteen seos (L&Bj 4) mädätetään, kuivataan termisesti ja lopputuotteet käytetään energiantuotannossa turpeen sijaan ja metsä- ja peltolannoitteena. Kustannukset näkyvät positiivisina pylväinä, kustannussäästöt negatiivisina.

Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyvaihtoehtojen yhteenveto ja vertailu

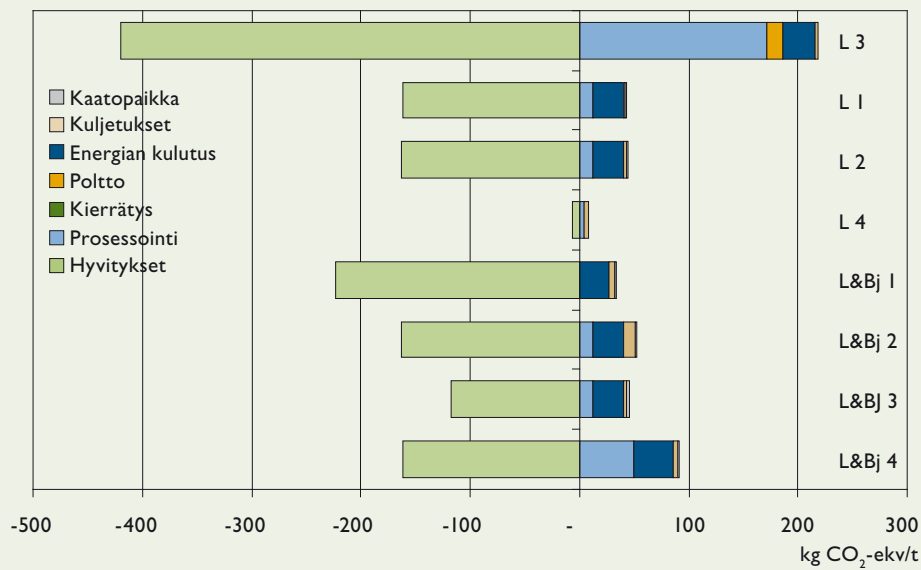
Jätevesilietteen ja biojätteiden yhteiskäsittelyn avulla voidaan saavuttaa kapasiteetti- ja kuljetushyötyjä. Perinteisesti biojäte- ja vesihuolto käsittelevät lietteet ja biojätteet erikseen, mutta materiaalivirtojen näkökulmasta lietteet ja biojätteet ovat hyvin samankaltaisia, orgaanisia materiaaleja, joiden erot ovat lähinnä vesipitoisuudessa sekä ravinne- ja raskasmetallipitoisuudessa.

3.6.4.1

Hyödyntämismuutoksissa syntyvät CO₂-ekv-päästöt

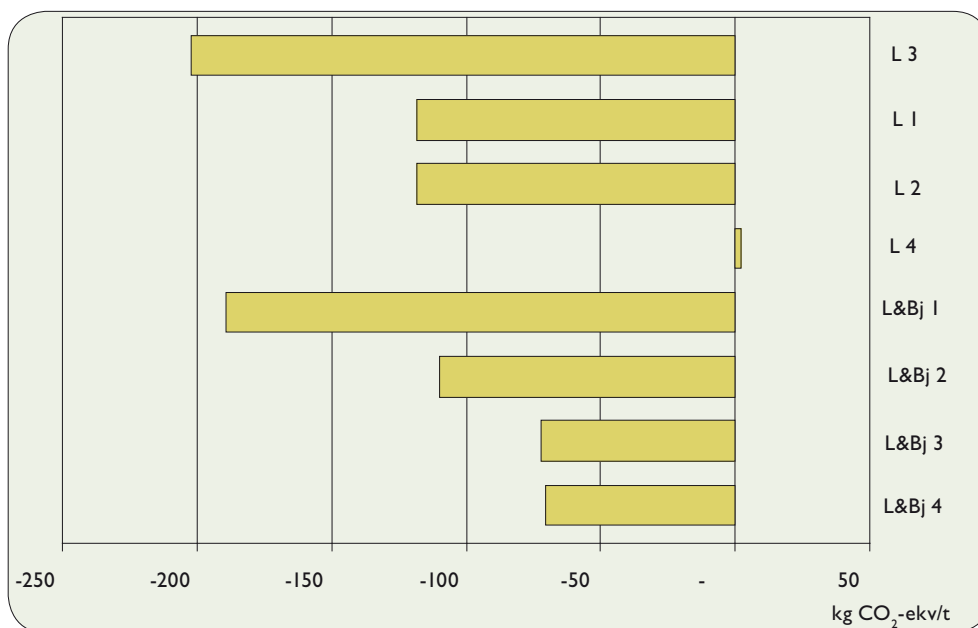
Yhteiskäsittelyvaihtoehtojen suurimmat CO₂-ekv-säästöt saadaan, jos voidaan välttää kivihiihilauhteen käyttöä, kuten vaihtoehdossa L&Bj 1, jossa kivihiihilauhteen osuus CO₂-säästöistä on yli 60 % ja lämmön noin 25 %, materiaalihyödyntämisen (typpilannoitteen valmistuksen välttäminen) säästö on vain noin 7 % (Kuva 102). Myös mikroturbiinin melko korkeat energian saanto (67 %) ja sähkön osuus tuotetusta energiasta (44 %) vahvistavat vaihtoehdon asemaa muihin verrattuna. Turpeen polttoa korvaavassa vaihtoehdossa (L&Bj 2) saavutettavat säästöt eivät ole yhtä suuret kuin maatilakokoluokan ratkaisua edustavassa vaihtoehdossa (L&Bj 1) johtuen mm. siitä, että mikroturbiinin energiasta päätyy hyötykäyttöön 67 % ja turvekattilasta vain 60 %, lisäksi kivihiihilyvityksen päästökerroin energiayksikköä kohti on paljon turpeen polton kerrointa suurempi. Muissa mädätysvaihtoehdoissa (L&Bj 3 ja 4) hyvitykset ovat vaihtoehtoa L&Bj 1 huonommat, koska niissä ei hyvitetä kivihiihilauhdetta. Keskinäinen ero puolestaan johtuu siitä, että turpeenpolton hyötysuhde on 60 % ja öljyn polton 90 % (eli samoista syistä kuin erot lietteen käsittelyvaihtoehdoissa L 1 ja L 2).

Lietteen kannalta suurimmat hyödyt saadaan kuitenkin silloin, kun se kuivataan termisesti ja poltetaan hyvällä hyötysuhteella turvetta korvaten (Kuva 103), mutta ero maatilamädätykseen ja siihen yhdistettyyn peltolannoitekäyttöön on marginaalinen silloin, jos maatalan mikroturbiinilla voidaan olettaa korvattavan kivihiihilauhdetta.



	L1	L2	L3	L4	L&Bj 1	L&Bj 2	L&Bj 3	L&Bj 4
Prosessointi	Mädätys (termof.) Kompostointi	Mädätys (termof.) Kompostointi	Terminen kuivaus	Kemicond Kompostointi	Maatila-mädätys (termof.)	Mädätys (termof.) Kompostointi	Mädätys (termof.) Kompostointi	Mädätys (termof.), Terminen kuivaus
Poltto	Biokaasun poltto öljykattilassa	Biokaasun poltto tuvekattilassa	Arinapoltto poltto tuvekattilassa		Biokaasun poltto mikro-turbiinilla	Biokaasun poltto turvekattilassa	Biokaasun poltto öljykattilassa	Biokaasun poltto turvekattilassa
Kierrätys	Turvemullan raaka-aine	Turvemullan raaka-aine, Peltolannoite		Turvemullan raaka-aine	Peltolannoite	Turvemullan raaka-aine Peltolannoite	Turvemullan raaka-aine	Metsälannoite Peltolannoite
Hyvitykset	Öljyn poltto	Turpeen poltto	Öljy 56%, puu 32%, maakaasu		Suomi ka	Turpeen poltto	Öljyn poltto	Turpeen poltto
Lämpö		Kivihiililauhde			Kivihiililauhde			
Sähkö								
Raaka-aine	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus		Turpeen otto	N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto, öljyn (POR) jalostus	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus
Kaatopaikka					Hyödyntämiseen soveltumaton, kiinteä mädätysylijäämä	Hyödyntämiseen soveltumaton, kiinteä mädätysylijäämä	Hyödyntämiseen soveltumaton, kiinteä mädätysylijäämä	Hyödyntämiseen soveltumaton, kiinteä mädätysylijäämä

Kuva 102. Lietteen sekä lietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyketjujen CO₂-päästöt. Hyödyntämisketjun tuottamat päästöt näkyvät positiivisina ja säästetyt päästöt negatiivisina.



Kuva 103. Jätevesilietteen ja jättevesilietteen ja biojätteen seoksen käsittelyketjujen CO₂-ekv-nettopäästöt (kg) ilmoitettuna jätetonna kohti.

3.6.4.2

Muut ympäristövaikutukset

Ilmastonmuutosvaikutuksen ohella esiin nousevia lietteiden ja biojätteiden yhteiskäsittelyn ympäristövaikutuksia ovat hiukkasvaikutus, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen, jotka aiheutuvat lähinnä kompostoinnissa vapautuvasta ammoniakkipäästöistä. Rikin ja typen oksideja syntyy ennen kaikkea energiantuotannosta ja kuljetuksista, ja näillä toiminnoilla on merkittävä osuus kaikkien edellä mainittujen vaikutusten syntymisessä.

Hyvitykset ovat merkittävimmät samoissa vaikutusluokissa kuin kuormituksetkin: turpeen polton välttämällä jää syntymättä erityisesti happamoittavia ja hiukkasvaikutuksia sekä rehevöitymistä aiheuttavia typen päästöjä, kun taas öljyn käytön välttämällä vähennetään sekä hiukkasvaikutuksia että happamoitumista aiheuttavia rikin oksideja.

Tutkimuksessa ei ole käytetty hygienian tasoa kuvaavaa vaikutusluokkaa, koska sellaisia ei nykyisiin yleisimpiin vaikutusarviointimenetelmiin sisälly. Näin ollen ei ole mahdollista arvioida esimerkiksi jätteen mahdollisesti sisältämien virusten ja bakteerien aiheuttamaa terveysuhkaa ihmisille tai kasveille.

3.6.4.3

Kustannukset

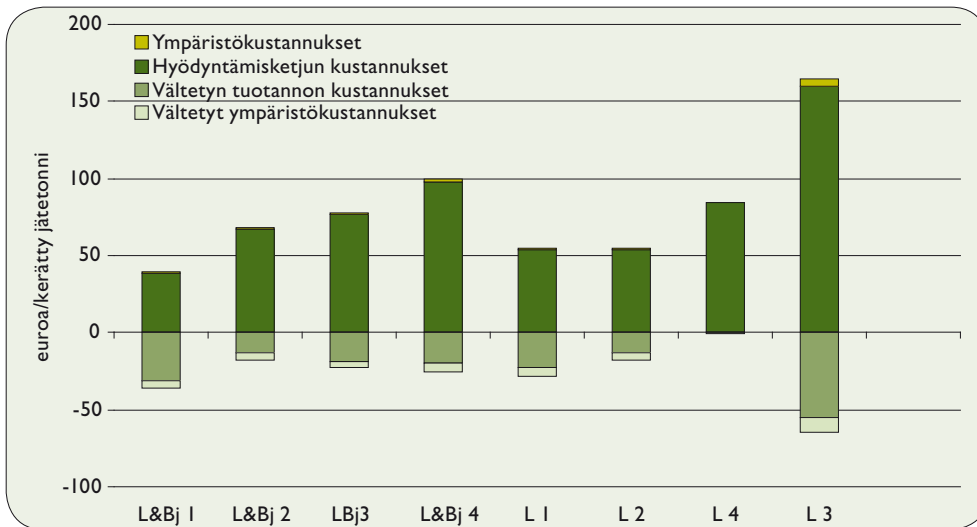
Nettomääräisesti eniten CO₂-hyvityksiä tuottava vaihtoehto L&Bj 1 on myös kustannusvaikutuksiltaan edullisin jättevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittely (Kuva 105). Maatilakokoluokan mädätys tuottaa myös kaikkiin lietteen käsittelyn vaihtoehtoihin (L 1-L 4) nähden alhaisimmat nettokustannukset. Tulos perustuu niin maatilamädättämön alhaisempiin pääoma- ja käyttökustannuksiin kuin varsin suuriin vältettyihin kustannuksiin (Kuva 104). On syytä huomioida, että vaihtoehdosta L&Bj 1 saatavat kustannussäästöt eivät ole täysin verrannollisia muiden vaihtoehtojen (L&Bj 2-4) vältettyjen kustannusten kanssa. Järjestelmän vältetyt kustannukset muodostuvat korvattavan energiantuotannon kustannuksista, kun taas mädätykseen perustuvissa järjestelmissä on tarpeen tarkastella vain korvattavan polttoaineen synnyttämiä (ja päästökaupan) säästöjä: korvattava polttoaine ja sitä korvaava biokaasu on

oletettu poltettavaksi samassa kattilassa samalla energian saannolla, jolloin sekä jätteen hyödyntämisketjun että korvattavan tuotannon osalta on voitu supistaa pois energiantuotannon laitospäästökustannukset ja huomioida vain polttoainekustannusten ja polttoaineiden energiasisällön vaikutukset. Nettokustannukset vertautuvat siis kaikkien vaihtoehtojen osalta tasapuolisesti toisiinsa nähden.

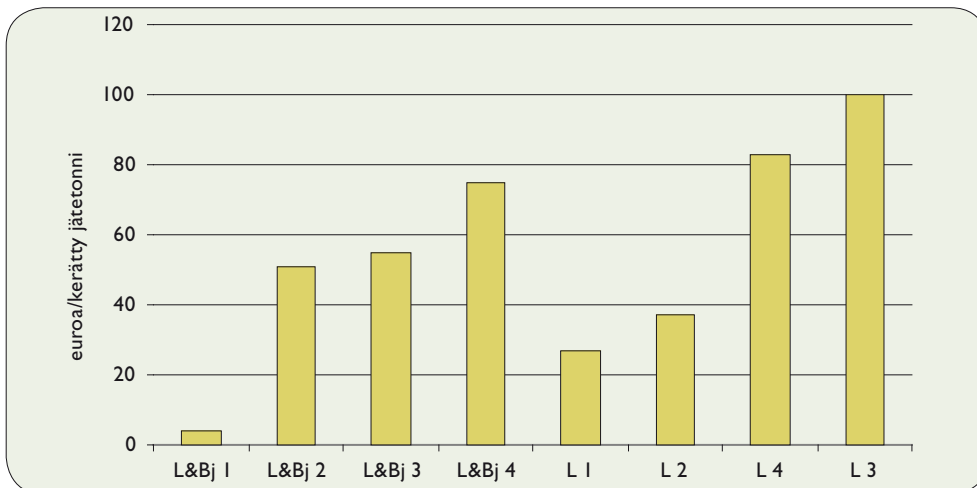
Yhdistelmäkäsitteilyistä toiseksi edullisimmat ratkaisut, käsittelyvaihtoehdot L&Bj 2 ja L&Bj 3, joissa tarkasteltavat prosessit ovat samat, eroavat toisistaan korvattavien lopputuotteiden osalta. Järjestelmä, jossa korvataan kolme lopputuotetta (L&Bj 2), on kahdesta tarkasteltavasta mädätysvaihtoehdosta kannattavampi. Tulos ei kuitenkaan johdu ensisijaisesti siitä, että järjestelmästä saadaan kolme erilaista hyvitystä, vaan seoksena käsiteltävien lietteiden ja biojätteiden osuudesta seoksessa. Kun biojätteen määrä suhteessa lietteen määrään on suurempi, ovat syntyvät käsittelykustannukset koko ketjun matkalta suuremmat biojätteen noutokustannuksen takia. Vältetyt kustannukset ovat kuitenkin suurimmat yhteiskäsittelyjärjestelmässä, jossa pystytään korvaamaan öljyä polttoaineena (L&Bj 3) ja vielä suuremmat, jos öljyn ja kasvualustahyvityksen lisäksi saadaan myös lannoitehyvitys; tällaiset korvaavuudet saadaan lietteen mädätysvaihtoehdosta L 1. On hyvä huomata, että jätteen hyödyntämisketjun kustannukset nousevat, jos biojätteen osuus seoksena käsiteltävästä massasta suurenee, mutta samanaikaisesti saatavan lannoitehyvityksen todennäköisyys alenee seoksen muuttuessa kiinteämmäksi.

Yhteiskäsittelyvaihtoehdoista vähiten CO₂-säästöjä tuottava järjestelmä, lietteen ja biojätteen hyödyntäminen metsälannoitteeksi (L&Bj 4), on myös kustannusvaikutuksiltaan epäedullisin vaihtoehto. Tulos syntyy, koska järjestelmän prosessointikustannukset ovat pääosin termisen kuivauksen seurauksena muita järjestelmiä korkeammat. Öljyn sijaan jonkin toisen polttoaineen käyttäminen kuivauksessa alentaisi kokonaiskustannuksia. Järjestelmässä oletetun metsälannoitehyvityksen osalta on myös hyvä pitää mielessä luvun 3.5.4 pohdinta lannoitteen levityskustannusten vaikutuksista.

Lietteen osalta taloudellisesta näkökulmasta edullisinta on siis mädättää liete maatilakokoluokan mädättämöissä (L&Bj 1). Toiseksi kannattavinta on käsitellä liete laitospäästämöissä alueella, jossa mädätyskaasu voidaan hyödyntää energiantuotannossa öljyn sijaan (L 1). Halvemman polttoaineen, turpeen, hyvittäminen energiantuotannossa (L 2) tuottaa vähemmän kustannussäästöjä. Alueelliset sidonnaisuudet ja etenkin tarkasteltuun valittujen käsittelylaitosten ominaisuudet vähentävät kuitenkin tässä tutkimuksessa saavutettujen tulosten yleistettävyyttä. Lisäksi on hyvä huomioida, että lietteen mädätysvaihtoehdot L 1 ja L 2 ovat nettokustannuksiltaan lietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyn laitospäästämöissä (L&Bj 2 ja 3) edullisemmat pääasiallisesti siksi, että lietteelle ei muodostu biojätteen tapaan noutotyön kustannuksia.



Kuva 104. Jätevesilietteen ja jättevesilietteen ja biojätteen seoksen hyödyntämisvaihtoehtojen kokonaiskustannukset ja vältetyt kokonaiskustannukset jätetonna kohti.



Kuva 105. Jätevesilietteen ja jättevesilietteen ja biojätteen seoksen käsittelyketjujen yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus jätetonna kohden.

Täydentäviä tarkasteluja

3.7.1

Kuitupakkausten kierrätys

Kuitupakkausten materiaalihyödyntämisestä saatavia hyötyjä arvioitiin tässä hankkeessa olettaen, että kotimaisen kuitupakkausjätteen hyödyntämisen lisääntyminen vähentäisi Saksasta tuotavan kuitupakkausjätteen laivarahtia ja tästä saataisiin päästövähennyksiä.

Vaihtoehtoisesti olisi kuitenkin voitu tarkastella myös tilannetta, jossa kuitupakkausjätteen hyödyntämisellä korvataan neitseellisen puun käyttöä. Tällöin oletettaisiin, että kierrätyskuidun puuttuessa hylsykartonki valmistettaisiin neitseellisestä kuidusta. Koska asiantuntijat eivät nykytilanteessa pitäneet oletusta realistisena, valittiin varsinaiseen tarkasteluun edellä mainittu laivarahdin hyvitysvaihtoehto.

Valmistettaessa hylsykartonkia keräyskuidusta voitaisiin välttää puun kasvatuksen, korjuun, haketuksen, keiton ja kuidutuksen tuottamat päästöt ja energiankulutus (Auvinen 2008b). Puun kasvatuksen ja korjuun välttäminen säästää CO₂-päästöjä noin 20 kg/t puuta (Dahlbo ym. 2005), kun vältetään puun harvennukseen ja korjuuseen käytetty konetyö. Puun hakettaminen kuluttaa energiaa noin 0,04 GJ/m³, (Auvinen 2008b) eli noin 0,08 GJ/t puuta, jos lasketaan koivun tiheydeksi 500 kg/m³ (Alakangas 2000)). Koivusellun keittäminen puolestaan vie energiaa noin 4,8 GJ/t sellumassaa, jonka valmistamiseen tarvitaan noin 3 m³ koivua (Auvinen 2008b), eli haketuksen ja keiton kuluttama energia on yhteensä noin 3,3 GJ/t puuta (4,9 GJ/t sellumassaa). Kierrätyskuidun kuiduttaminen vie sähkö- ja höyryenergiaa yhteensä noin 1,3 GJ/t kartonkia (Auvinen 2008a). Keräyskartongissa on kuituja noin 85 % ja keräyskuidun tarpeeksi voidaan arvioida noin 1,2 t/t kartonkia (Auvinen 2008a ja 2008b). Koivun ensiökuidusta valmistetun kartongin energiankulutus olisi näin ollen (0,85 * 4,9 GJ/t sellumassaa) noin 4,2 GJ/t kartonkia, jolloin vältetty energiamäärä on noin (4,2 – 1,3 GJ/t kartonkia) 2,9 GJ/t kartonkia. Tämän energian säästyessä vältetyt päästöt riippuvat siitä, millä polttoaineilla energia oletetaan tuotettavaksi. Mikäli oletetaan, että tehtaan polttoainevalikoima muistuttaa esimerkiksi Kirkniemen laitosten polttoainejakaumaa, 85 % puuta ja 15 % maakaasua, ja sähkö (n. 44 % energian käytöstä) tuotetaan kivihiihilauhteella, vältetään CO₂-päästöjä noin 110 kg/GJ (Myllymaa ym. 2008).

Keräyskartongin käytöllä hylsykartongin raaka-aineena voidaan siis säästää hiilidioksidipäästöissä 2,9 GJ/t kartonkia * 110 kg CO₂/GJ : 1,2 t kierrätyskuitua/t kartonki + 20 kg CO₂/t puuta * 0,5 t/m³ * 3 m³/t sellumassaa * 0,85 t kuitua/t kartonkia : 1,2 t kierrätyskuitua/t kartonki = 287 kg CO₂/t kartonkia. Tulos on herkin vältettyihin polttoaineisiin liittyville oletuksille. Mikäli vältetty lämpöenergiantuotanto olisi kokonaan fossiilille polttoaineille - esimerkiksi öljylle - pohjautuvaa, vältetyt päästöt olisivat noin 410 kg CO₂/t kierrätyskuitua. Kuitupakkausten rahdilla saatava hyöty on noin 50 kg CO₂/t keräyskuitua, joten ensiökuitujen välttämällä saavutettaisiin noin 6 – 8 -kertaiset hyödyt (vrt. Kuva 55).

3.7.2

Puujätteen hyödyntäminen sellunvalmistuksen raaka-aineena

Puujätteelle vaihtoehtoinen hyödyntämiskäytäntö olisi käyttää kierrätyspuuta sellunvalmistuksen raaka-aineena. Sellun valmistusprosessissa ei tällöin syntyisi säästöjä, koska hake vastaa ligniinipitoisuudeltaan ja muulta koostumukseltaan neitseellistä puuhaketta. Säästöt tulisivat siis suoraan puun tuotannon välttämisenä, jonka suuruus on noin 20 kg CO₂/t puuta (Dahlbo ym. 2005).

Kuljetuksissa saattaisi olla paikallisesti merkittäviäkin CO₂-säästöpotentiaaleja, joilla voi olla merkitystä etenkin kustannusten kannalta. Muille jätelajeille tehdyt analyysit kuitenkin osoittavat, että kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaali on kuljetusten avulla muihin prosessivaiheisiin verrattuna hyvin vähäinen.

3.7.3

Etanolin tuotanto biojätteestä biojalostamossa

Etanolia voidaan laboratoriomittakaavassa toteutettujen tutkimusten valossa tuottaa myös biojätteestä (Myllymaa ym. 2008). Tällainen jätteen hyödyntämismenetelmä voisi soveltua kaupunkialueelle, jossa biojätettä syntyy tarpeeksi suuria määriä ja lisäksi tuotettavalle etanolille olisi käyttöä lähietäisyydellä. Tutkitussa prosessissa 95 %:isen etanolin saanto biojätteestä on noin 7 % syötteen painosta.

Tuotettaessa etanolia biojätteestä, biojäte esikäsitellään murskaamalla ja kuumentamalla. Kuumentamalla hygienisoitu massa hydrolysoidaan sellulaasi- ja amylaasientsyymien avulla, minkä jälkeen lopputuote fermentoidaan. Tämän jälkeen etanoli tislataan fermentoidusta massasta ja lopuksi väkevöidään noin 95 %:n väkevyyteen. Prosessi tuottaa lämpöä, joten se tarvitsee jäähdytystä. Etanolin lisäksi prosessin lopputuotteena syntyy noin 0,6 t jäännösmassaa ja noin 0,33 t jäännösnestettä. (Myllymaa ym. 2008)

Prosessista ei ole toistaiseksi olemassa energiatasetietoja. Jos oletetaan, että reaktio toteutetaan mädätysreaktoria muistuttavassa astiassa, jossa on sekoitin, ja että energian kulutus vastaa perinteisen mädätyksen lämmitystarvetta, on mekaanisen prosessin vaatima energian kulutus noin 490 MJ/t biojätettä. Fermentoinnin eli etanolia tuottavan vaiheen energiankulutus on noin 30 GJ/t etanolia (Hill 1984), eli 2 010 MJ/t biojätettä. Etanolin tislauksen puolestaan vie energiaa noin 860 MJ/t etanolia (CRC 1983), eli noin 60 MJ/t biojätettä. Etanolin energiasisältö on noin 20 GJ/t. Biojätteestä tuotettu energiapotentiaali on näin ollen noin 1 340 MJ/t biojätettä, kun prosessointiketjun vaatima energiamäärä olisi edellä esitetyillä oletuksilla samaan aikaan noin 2 560 MJ/t biojätettä.

Bensiinin energiasisältö on noin 43 GJ/t, eli yhden etanolikilon avulla voidaan korvata noin 0,47 kg ja yhden biojätetonnin tuottaman etanolimäärän avulla edelleen noin 31,5 kg bensiiniä. Biojätetonnin tuottaman bensiinimäärän polttaminen puolestaan tuottaisi päästöjä noin 100 kg CO₂-ekv (keskikulutus Euro 3 -luokan autolla on 51 g/km, jolloin päästöt 0,168 kg CO₂-ekv/km (Mäkelä 2002)), jotka vältetään polttamalla etanolia bensiinin sijaan. Jos etanolin tuottamiseen tarvittava energia, 2 590 MJ, tuotetaan keskimääräisellä suomalaisella sähköllä (90 kg CO₂-ekv/GJ), päästöjä syntyy noin 233 kg CO₂-ekv.

Biojalostamoprosessin hiilidioksiditasekin riippuu siis jälleen kerran siitä, millä polttoaineilla prosessien vaatima energia tuotetaan: jos käytetään oletuksena keskimääräistä suomalaista sähköntuotantoa (90 kg CO₂-ekv/GJ), tase jää noin 133 kg CO₂-ekv päästöjä tuotettavalle puolelle. Jos taas oletetaan, että energia tuotettaisiin pääosin CO₂-päästöttömällä energialla, kuten ydin-, puu-, tai vesivoimalla, vältetyt päästöt jäisivät tuotettuja suuremmiksi. Käytettyjen oletusten valossa menetelmän kriittisenä tekijänä on kuitenkin etanolin tuotannon suuri energian kulutus, mutta koska kulutustiedot perustuvat vain kirjallisuuden perusteella tehtyihin arvioihin, laskelmaa ei voida pitää luotettavana.

3.7.4

Kivihiililauhteella tuotettu sähkö marginaalienergiamuotona

Tutkimuksessa on käytetty sähköntuotannon marginaalimuotona kivihiililauhdetta. Kivihiilellä tuotettua lauhdevoimaa tuotettiin Suomessa vuonna 2006 n. 98 PJ, kun

mukaan lasketaan sähkön ja lämmön yhteistuotannon yhteydessä tuotettu lauhdesähkö sekä sähkön lisätuotanto apulauhduksilla.

Ympäristöministeriön arvioima jätteenpolttokapasiteettitarve vuonna 2016 on luokkaa 700 000 - 750 000 tonnia (Vn 2008), jonka avulla pystyttäisiin tuottamaan sähköä n. 1,5 - 2,0 PJ:a. Jätteiden energiapotentiaali on hyvin vähäinen tuotettuun lauhdevoimaan tai valtakunnalliseen energian kokonaistarpeeseen verrattuna. Jätteiden energiakäytön valtakunnalliseen sähköverkkoon aiheuttamat muutokset heijastuisivat siis todennäköisesti juuri marginaalissa olevan kivihiililauhdesähkön käyttöön joten kivihiililauhteen käyttöä laskennassa voidaan pitää perusteltuna laskentatarkkuuden puitteissa.

Kivihiililauhteella tuotetun sähköenergian ominaispäästöt on laskettu olettamalla, että tuotettu hiilidioksidi vapautuu ilmaan, jolloin päästöt ovat noin 260 CO₂-ekv/GJ (tuotettu) (Myllymaa ym. 2008). Suunnitelmissa on kuitenkin ottaa vuonna 2015 käyttöön hiilidioksidia talteen ottava ja varastoiva tekniikka (Carbon capture and storage, CCS) Fortumin Meri-Porin laitoksella, joka tuottaa noin 10 % Suomen lauhdesähkösä.

Jos osa lauhdesähkön päästöistä laskettaisiin hiilineutraaliksi, kivihiililauhdesähköä korvaamalla ei syntyisi yhtä paljon vältettyjä päästöjä, kuin tämän hetken oletuksilla. CO₂-päästöjen lisäksi todennäköisesti myös SO₂-päästöt laskisivat, joskin vastaavasti NO_x-päästöt nousisivat. Näiden suhde riippuu siitä, kuinka paljon marginaalisähköstä oletetaan tuotettavan CCS:llä varustetussa laitoksessa. Avoimilla pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla myös muiden (Pohjois)maiden CCS-projektit saattavat vaikuttaa marginaalisähkön päästöihin, sillä mm. Vattenfall on vahvasti sitoutunut CCS-tekniikan kehittämiseen.

3.7.5

Ajoneuvojen uusien Euro-päästörajaluokkien vaikutus kuljetusten päästöihin

Järjestelmien jätevirtojen siirtokuljetukset on mallinnettu käyttämällä Euro 3 -moottoriluokan päästöjä, jotka ovat viimeisimmät saatavilla olevat kuljetusajoneuvojen yksikköpäästötiedot (Mäkelä 2002). Tällä hetkellä käytössä alkaa olla yhä enemmän myös Euro 4 -luokan kalustoa, joissa on Euro 3 -luokkaa pienemmät päästöt. Autokannan yhä uusiutuessa laskelmat yliarvioivat kuorma-autokuljetuksen päästöjä: lokakuusta 2006 alkaen rekisteröitävien raskaankaluston ajoneuvojen on täytettävä Euro 4 -päästömääräykset ja lokakuusta 2009 alkaen voimaan astuu Euro 5. Ero Euro 3:n ja Euro 4:n päästömääräysten välillä on merkittävä, sillä typpioksidien (NO_x) päästöjä leikataan 30 % ja pienhiukkaspäästöjä jopa 80 %. Euro 3- ja Euro 5 -luokkien välillä pienhiukkasten ero on myös luokkaa 80 %, mutta typen oksideilla yli 50 %.

Kaluston uusiutumisen aiheuttamat muutokset kuljetusten yksikköpäästöissä ovat merkittäviä. Kuljetuksilla on kuitenkin niin pieni rooli jätelajien käsittelyn ja hyödyntämisen koko ketjussa, jos vältetyt päästöt sisällytetään mukaan tarkasteluun, etteivät muutokset vaikuta kokonaistuloksiin.

3.7.6

Jätteenpolton tuottaman energian vaikutus energiajärjestelmään sähköä ja lämpöä tuottavan yhteistuotantolaitoksen vaikutusalueella

POLKU-hankkeessa valitut energiaskenaariot sijoittuivat etupäässä alueille, joissa jätteenpolttolaitoksella voitiin katsoa korvattavan lämpökeskuksia tai teollisuudelle prosessihöyryä tuottavia, normaalia korkeamman rakennussuhteen omaavia kattiloita. Näissä tapauksissa jätteenpolttolaitoksen tavanomaista yhteistuotantovoimailaistosta heikompi sähköntuotannon hyötysuhde ei aiheuta sähkövajetta. Teollistunutta kaupun-

kialuetta edustavalla Pirkanmaalla (alue 2) ja palvelukeskeisellä kaupunkialueella eli pääkaupunkiseudulla on kuitenkin teoriassa olemassa mahdollisuus, että jätevoimalaitos korvaisi maakaasuturbiinin tai CHP-kivihiililaitoksella tuotettua sähköä ja lämpöä. Kaasuturbiinilla on selkeästi jätevoimalaa parempi rakennusaste, sillä sähköntuotannon hyötysuhde kaasuturbiineissa on 35 – 40 %, kun jätevoimalassa se on 15 – 27 %. Jos jätevoimalan tuottama energia korvaisi kaasuturbiinia tai CHP-kivihiilivoimalaitosta, energiaverkkoon jäisi siis ns. sähkövajetta, jonka kompensoiminen esim. marginaalissa käytetyllä kivihiililauhdesähköllä aiheuttaisi järjestelmässä päästöjen välttämisen sijaan enemmän päästöjä.

Jätevoimalan aiheuttaman sähkövajeen realisoitumista pidettiin kuitenkin melko epätodennäköisenä, sillä energiataloudellisesti ei ole järkevää syrjäyttää tehokkaasti toimivaa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosta. Kaasuturbiinia ei nimittäin kannata käytännössä ajaa osakuormalla ja kivihiililaitoksessakin sähköntuotannon hyötysuhde laskee merkittävästi, jos sitä ajetaan mitoituksuormaa alhaisemmalla käyttöasteella.

CHP-kivihiilivoimalaitosta voidaan ainakin teoriassa ajaa koko mitoitustehollaan, vaikka samalla osa lämpökuormasta lauhdutettaisiin mereen esim. jätteenpolttolaitoksen tuottaman lämmön vuoksi. Tällöin saataisiin edelleen sähköntuotannolle hyvä hyötysuhde, vaikka lämpöä tuotettaisiinkin suoraan lauhteeksi. Tällaisen toiminnan mielekkyydestä energiayhtiöitten näkökulmasta ei kuitenkaan ole varmuutta, ja lisäksi vältetyn energian hyötyjen laskeminen jätevoimalalle olisi hyvin vaikeaa.

3.7.7

Jätteiden sijoittaminen kaatopaikalle

Jätelajeille mallinnetuissa käsittely- ja hyödyntämisketjuissa vältettiin tarkoituksellisesti vaihtoehtoa, jossa ne sijoitettaisiin kaatopaikalle, sillä tavoitteena oli verrata erityisesti kierrätyksen ja polton mahdollisuuksien eroja.

Onko huonompikin hyödyntämistapa parempi kuin sijoittaminen kaatopaikalle? Jos kaatopaikan kasvihuonekaasupäästöt arvioidaan IPCC:n kertoimien avulla, määrät vaihtelevat jätelajista riippuen välillä 500 – 1200 kg CO₂-ekv/jätetonne (Taulukko 18). Lähtötietoina on käytetty oletusta, että kaatopaikkakaasusta on metaania 50 %, jätteiden orgaanisesta hiilestä 50 % hajoaa, metaanista kerätään talteen 60 % ja jäljelle jääneistä metaanipäästöistä 10 % hajoaa hiilidioksidiksi kaatopaikan pintakerroksessa.

Sekajätteen polton tuottamat päästöt ovat noin 350 kg CO₂-ekv/t, eli kaatopaikalla syntyy kasvihuonekaasupäästöjä huomattavasti polttoa enemmän. Biojätteen kompostointi tuottaa päästöjä 50 kg CO₂-ekv/t, lietteiden käsittelyistä kuormittavinkin eli terminen kuivaus vain noin 200 kg CO₂-ekv/t. Kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineenkin päästöt ovat enimmillään vain noin 650 kg CO₂-ekv/t, joten kaikkien jätelajien kohdalla kaatopaikkasijoitus jäisi huonoimmaksi vaihtoehdoksi edellä mainituin oletuksin.

Taulukko 18. Jätelajien kaatopaikalla tuottamat metaanipäästöt IPCC:n kertoimien avulla laskettuna (IPCC 1996, Petäjä 2008).

	DOC	kg CH ₄ /t	kg CO ₂ -ekv/t
Sekajäte	0,175	24	525
Paperi ja kartonki	0,40	48	1 200
Biojäte	0,15	19	475
Puu	0,30	36	900

4 Alueellisten järjestelmien ympäristövaikutukset ja kustannukset

4.1

Tarkasteltavat alueet ja niiden valintaperusteet

Alueellisista tekijöistä aiheutuvien erojen esiin saamiseksi tutkimuksen jätehuoltojärjestelmätarkasteluun valittiin neljä mahdollisimman erilaista aluetta. Valinnan pohjaksi koottiin tietoja energiajärjestelmistä, polttoa koskevista suunnitelmista, elinkeinorakenteesta sekä asukas- ja jätemääristä eri puolilla Suomea. Tietoa koottiin maakuntien kokoisilta alueilta, joista sitä on tilastollisista syistä yksinkertaisimmin saatavilla. Järjestelmämallinnuksen tavoitteena ei ollut löytää alueille optimivaihtoehtoja, vaan mallintaa erilaisia, osin hyvin paljon toisistaan poikkeavia vaihtoehtoja.

Tarkasteltaviksi alueiksi valittiin 1) Pääkaupunkiseutu (rajauksena YTV:n sopimuskaupungit) edustamaan kaupunkimaista, palvelukeskeistä aluetta, 2) Pirkanmaa edustamaan kaupunkimaista, mutta samalla teollistunutta aluetta, 3) Pohjois-Karjala edustamaan maaseutumaista, alkutuotantoon painottunutta aluetta ja 4) Pohjois-Pohjanmaa edustamaan maaseutumaista ja samalla teollistunutta aluetta (Kuva 106). Valintaperusteet olivat:

Alue 1, palvelukeskeinen kaupunkialue (Pääkaupunkiseutu)

- Helsinki, Espoo, Kauniainen, Vantaa (YTV:n sopimuskaupungit) edustaa tiheään asuttua, kaupunkimaista ympäristöä, jossa melko vähän maataloutta ja tuotantoteollisuutta
- kaupan ja muun palvelusektorin osuus 80 % työpaikoista (Suomen keskiarvo 69 %)
- jätemäärät suuria, kertymisalue pieni
- käytettävissä runsaasti tilasto- ja tutkimustietoa
- alueella ja lähiympäristössä vireillä useita energiahyödyntämishankkeita (arinapolttolaitos teollisuuslaitoksen yhteyteen Kirkniemeen tai kaupunkialueelle Helsinkiin, Espooseen tai Vantaalle).

Alue 2, teollistunut kaupunkialue (Pirkanmaa)

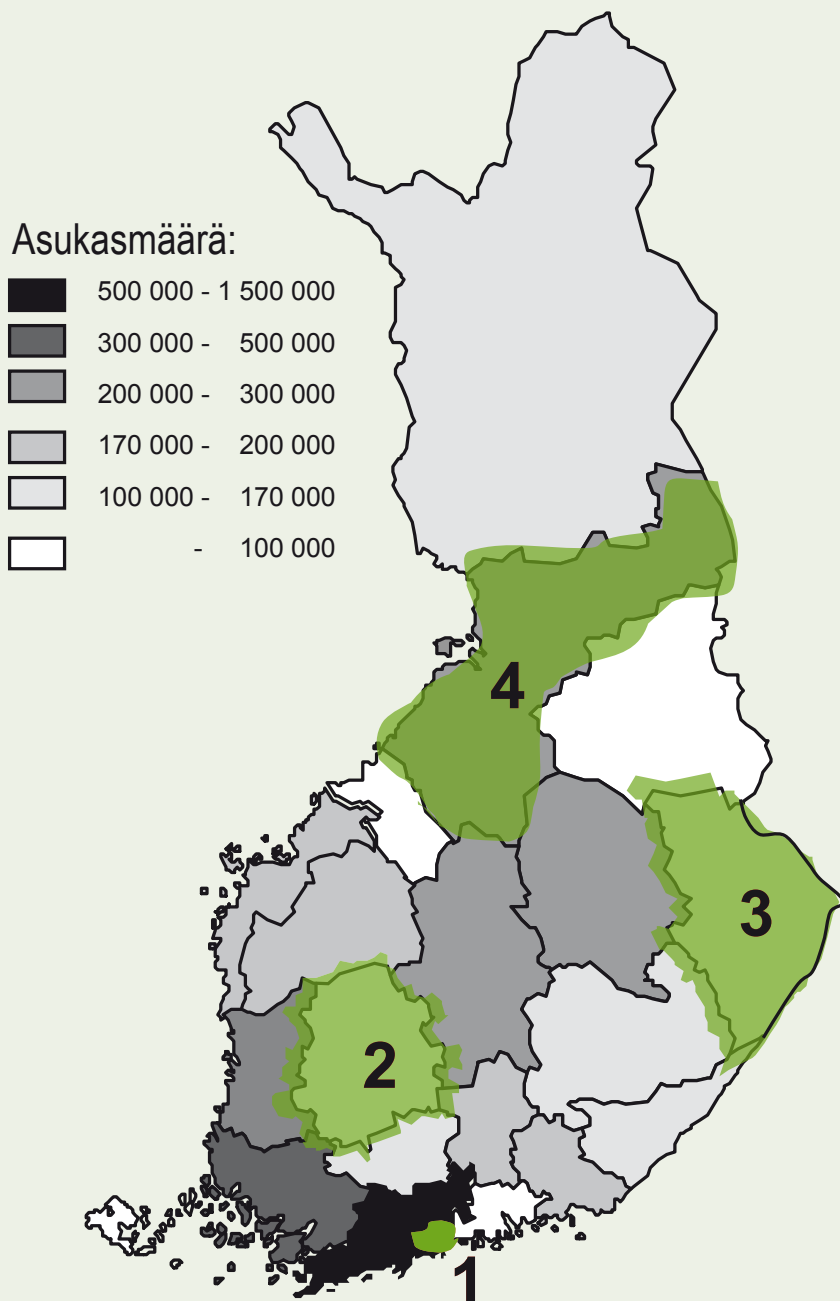
- edustaa tiivistä kaupunkimaista ja samalla teollista aluetta
- alueella metsäteollisuuttaalueelle suunnitteilla puunjalostusteollisuuden laitoksen yhteyteen tai keskustan tuntumaan sijoitettava arinapolttolaitos.
- useita rinnakkaispolttoon soveltuvia kattiloita

Alue 3, alkutuotantopainotteinen maaseutualue (Pohjois-Karjala)

- edustaa harvaan asuttua seutua, jossa asutus on keskittynyt muutaman kaupungin ympäristöön
- lähietäisyydellä vain vähän suunnitelmia polttolaitoksiksi
- alueen kaakkososaan suunnitteilla teollisuuden kierrätyspolttolaitosta polttava REF-laitos (Kitee, Puhos)

Alue 4, teollistunut maaseutualue (Pohjois-Pohjanmaa)

- sekä harvaan asuttua että kaupunkimuotoista asumista
- etenkin Oulun ympäristössä paljon jätteiden rinnakkaispolttoon soveltuvia, suuritehoisia, turvetta ja puuta polttavia kattiloita
- alueella vireillä suunnitelma teollisuuslaitoksen yhteyteen perustettavasta arinapolttolaitoksesta



Kuva 106. POLKU-hankkeeseen valitut tutkimusalueet.

Kullekin tarkasteltavalle alueelle muotoiltiin kaksi tai useampia jätehuoltojärjestelmiä tarkempaa analyysiä varten. Tavoitteena oli laatia vaihtoehtoisia jätehuoltojärjestelmiä kahdesta eri näkökulmasta painottaen – energiahyödyntämisen ja materiaalihyödyntämisen kannalta – ja analysoida alueellisten ominaisuuksien vaikutuksia vaihtoehtojen ympäristökuormituksiin ja -hyötyihin sekä kustannuksiin. Ensisijaisena järjestelmien laatimisperusteena käytettiin alueiden nykytilaa ja suunnitelmia. Järjestelmissä käytettiin ensisijaisesti alueiden omaan tiedonkeruuseen perustuvia jätemääräarvioita erikseen talteen saatavista jätelajeista. Tietoja täydennettiin tarvittaessa Tilastokeskuksen ja FINWASTE-hankkeen tiedoilla (Taulukko 19).

Aluetarkastelun kustannuslaskenta suoritettiin jätelajikohtaisista tarkasteluista poiketen (luku 3) ns. kannattavuusvertailuna, jossa rinnastetaan alueen skenaariot toisiinsa ja tarkastellaan, mitkä kustannukset yhteiskunnalle kokonaisuudessaan syntyvät, kun toinen järjestelmä toteutetaan. Kannattavuusvertailussa näkökulma on siten laajennettu tiettyyn järjestelmään siirtymisen kustannusvaikutuksen tarkastelusta tietyn vaihtoehdon yhteiskunnalle synnyttämän kokonaiskustannusrasitteen tarkasteluun. Menetelmä laajentaa elinkaariarvioinnin rajauksia noudattavaa elinkaarikustannustarkastelua (luku 3) siten, että kaikkien hyödyntämisketjujen osalta huomioidaan kaikki oleelliset kustannuserät valmiiseen lopputuotteeseen asti. Lisäksi tarkastelussa huomioidaan ns. vaihtoehtokustannukset eli ne kustannukset, jotka yhteiskunnassa syntyvät, kun toteuttamatta jäänyt vaihtoehto toteutetaan muulla tavoin kuin jätettä hyödyntämättä. Menetelmä on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisussa Myllymaa ym. (2008). Kannattavuusvertailun tuloksia tulkittaessa on oleellista muistaa, että eri alueiden kokonaiskustannukset eivät ole keskenään vertailukelpoisia, koska kannattavuustarkastelu on tehty aina yhtä aluetta kohden kerrallaan rinnastaen saman alueen kaksi järjestelmävaihtoehtoa toisiinsa.

Taulukko 19. Jättemäärät tutkituilla alueilla (YTV 2007, Savola 2006, Hakkarainen 2006, Arffman 2003, YTV 2005, Tilastokeskus 2006b, Mäenpää 2006, Turunen ym. 2008)

	YTV	Pirkanmaa	Pohjois-Karjala	Pohjois-Pohjanmaa
Asukkaita (2007)	*988 347	476 631	166 744	383 411
Jätelaji	Määrä, t/v	Määrä, t/v	Määrä, t/v	Määrä, t/v
Sekajäte	275 858	136 343	49 458	110 677
Biojäte	69 467	33 500	5 564	13 624
Lietteet	81 808	39 452	53 535	74 780
Kuitupakkausjäte	61 029	32 000	1 030	1 316
Puu	5 016	8 000	2 800	10 000
Muovi ja muovipakkaukset	2 883	5 802	2 060	668
Yhteensä	496 061	255 097	114 447	211 067

*31.12.2005

Alue I: Palvelukeskeinen kaupunkialue (Pääkaupunkiseutu)

Skenaariot ja niiden valintaperusteet

Pääkaupunkiseuduksi laskettavat Uudenmaan maakunnan kaupungit - Helsinki, Espoo, Kauniainen ja Vantaa - ovat perustaneet yhteistyövaltuuskunnan (YTV) hoitamaan mm. pääkaupunkiseudun liikennesuunnittelua, seudullista joukkoliikennettä, jätehuoltoa ja seututiedon ylläpitoa. Alue muodostaa tyypiltään yhtenäisen kokonaisuuden, josta kootaan myös jätetilastoja. Alueella syntyy vuosittain sekajätettä noin 276 000 t, biojätteitä noin 70 000 t ja yhteensä tässä tutkimuksessa tarkasteltavia jätteitä noin 500 000 t (Taulukko 19).

Pääkaupunkiseudun energiahuolto on hoidettu usean lämpölaitoksen ja sähköä ja lämpöä tuottavan yhteistuotantolaitoksen (combined heat and power, CHP-laitoksen) avulla. Pääkaupunkiseudulla käytetyt pääpolttoaineet ovat öljy, kivihiili ja maakaasu.

Pääkaupunkiseudun alueelle tai sen tuottamille jätteille on suunnitteilla viisi erilaista jätteidenpolttovaihtoehtoa. Näistä neljässä tapauksessa laitos olisi kapasiteetiltaan noin 250 000 t jätettä vuosittain polttava, 125 MW:n laitos, joka sijoittuisi Espooseen tai Vantaalle. Viides vaihtoehto sijoitettaisiin YTV:n alueen ulkopuolelle, Lohjalla sijaitsevalle puunjalostusteollisuusalueelle, ja voisi polttaa noin 450 000 t jätettä vuosittain. Tämän teollisuuslaitoksen yhteyteen suunnitellun jätteenpolttolaitoksen teho olisi noin 180 MW.

Pääkaupunkiseudun jätehuoltoa kuvaavista skenaarioista energiapainotteinen vaihtoehto laadittiin siten, että polttolaitoksena olisi mahdollisimman tehokkaasti energiaa tuottava ja hyödyntävä laitosratkaisu (Taulukko 20), joka on teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitettu arinalaitos. Tämän laitoksen on oletettu korvaavan lämmöntuotannossa puun ja maakaasun käyttöä ja sähköntuotannossa kivihiililauhdevoimaa. Lietteet ja biojätteet oletettiin käsiteltävän yhdessä, koska alueen liete- ja biojätehuolto ovat jo valmiiksi keskittyneitä. Koska YTV:n alueen nykyinen biojätteen käsittelyratkaisu, kompostointi, on kapasiteetiltaan täysin käytössä, mallinnettiin toisena vaihtoehtona tilannetta, että liete ja jätteet mädätettäisiin. Lisäksi oletettiin, että kuitu-, puu- ja muovijätteistä muodostuva energijäte poltetaan samassa laitoksessa kuin sekajätteet.

Toinen järjestelmävaihtoehtoista rakennettiin materiaalien hyödyntämistä painottaen ja osin polttoa välttäen (Taulukko 21). Sekajätteet poltetaan myös tässä vaihtoehdossa, mutta polttolaitoksen oletetaan sijoittuvan taajamaan, jolloin hyödynnettävän energian määrä on pienempi. Taajamaan sijoitetun arinalaitoksen on oletettu korvaavan Suomen keskimääräistä sähkön ja lämmön tuotantoa. Valinnan perustelut on esitetty luvussa 3.2.2.1.

Biojätteiden hyödyntämisvaihtoehdoksi valittiin nykyisin käytössä oleva kompostointi ja kuitujätteelle, puulle ja muoville valittiin materiaalia hyödyntävät vaihtoehdot.

Taulukko 20. Tuotetun energian määrää painottava järjestelmävaihtoehto (IE) pääkaupunkiseudulle (alue I).

Alue I E	Sj I	L&Bj 3	Kp I
Prosessointi	-	Mädätys (termof.) ja kompostointi	-
Poltto	Arinapoltto (teollisuus) E 81%	Biokaasun poltto öljykattilassa	Arinapoltto (teollisuus) E 81%
Kierrätys	-	Turvemullan raaka-aine	-
Hyvitykset	Puu 85%, maakaasu	Öljyn poltto	Puu 85%, maakaasu
Lämpö			
Sähkö	Kivihiililauhde	Kivihiililauhde	Kivihiililauhde
Raaka-aine	Kivihiili, Puu, Maakaasu	Turpeen otto, Öljyn (POR) jalostus, Kivihiili	Kivihiili, Puu, Maakaasu
Kaatopaikka	Tuhka	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	Tuhka

Taulukko 21. Materiaalien kiertoa painottava järjestelmävaihtoehto (I M) pääkaupunkiseudulle (alue I).

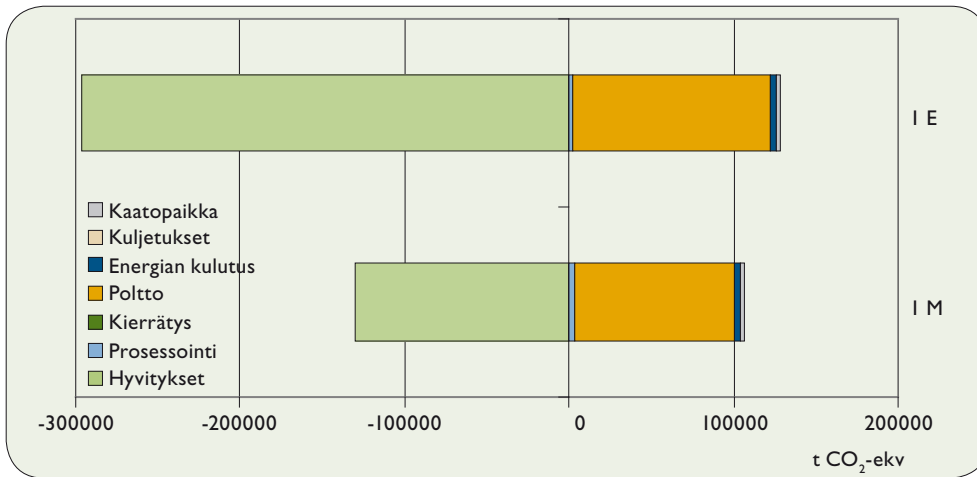
Alue I M	Sj 4	Bj I	Liete I	Kuidut, M	Puu, M	Muovi, M
Prosessointi	-	Kompostointi	Mädätys (termof.) ja kompostointi	-	Esikäsitteily	Esikäsitteily
Poltto	Arinapoltto (taajama) E 36%	-	Biokaasun poltto öljykattilassa	-	Vapautuvan puun poltto	-
Kierrätys	-	Turvemullan raaka-aine	Turvemullan raaka-aine, Peltolannoite	-	Lastulevyn raaka-aine	Viemäriputken raaka-aine
Hyvitykset	Suomi ka	-	Öljyn poltto	-	Turpeen poltto	-
Lämpö						
Sähkö	Suomi ka					
Raaka-aine		Turpeen otto	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Rahti Hki - Saksa	Turpeen otto	Neits. muovin valmistus
Kaatopaikka	Tuhka				Prosessoinnin rejekti (2 %)	Prosessoinnin rejekti (< 1 %)

4.2.2

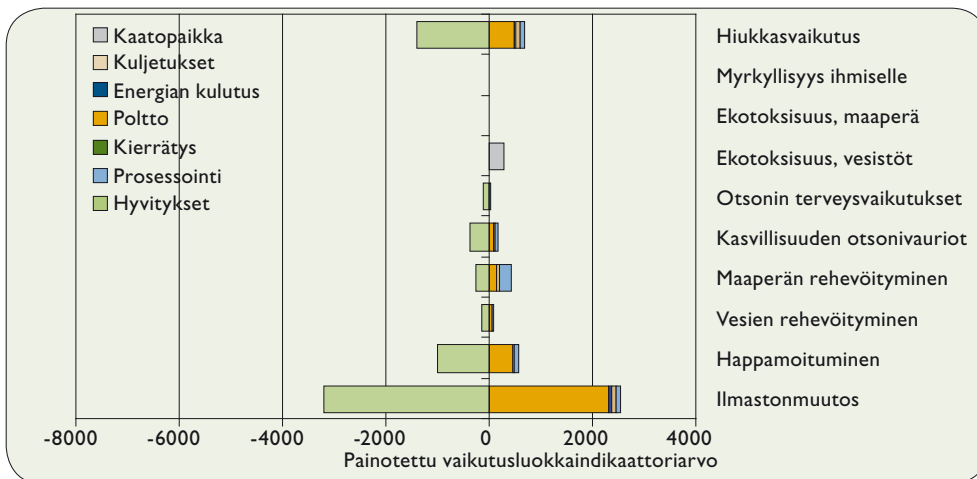
Tulokset

Pääkaupunkiseudun aluetarkastelussa materiaalipainotteisen järjestelmävaihtoehdon kasvihuonekaasujen nettopäästöt ovat suuremmat kuin energiapainotteisessa järjestelmässä (Kuva 107), eli energiapainotteinen järjestelmä välttää materiaalipainotteista enemmän CO₂-ekv-päästöjä. Jätteiden energiahyödyntäminen teollisuuslaitoksen yhteydessä paremmalla energian saannolla kuin taajamaan sijoitetussa laitoksessa aiheuttaa suurimmat erot energiapainotteisen ratkaisun hyväksi.

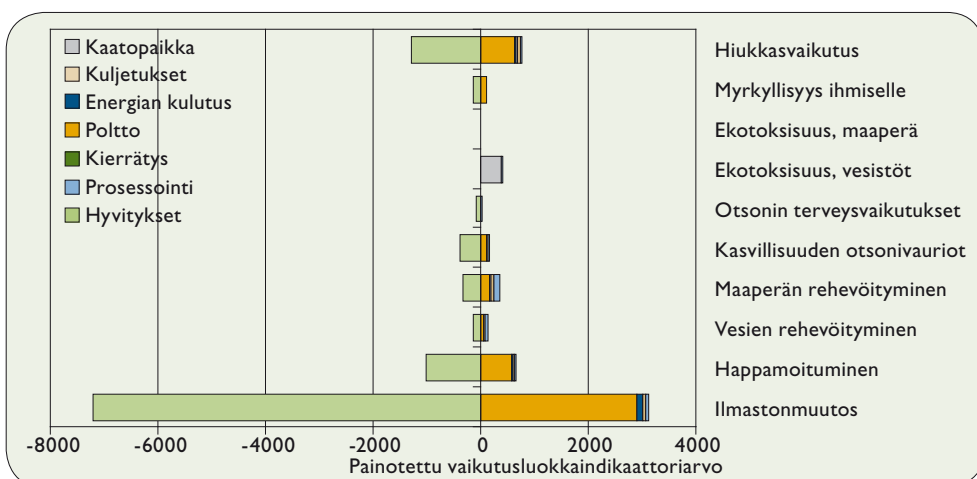
Ilmastonmuutosvaikutus on sekä materiaali- että energiapainotteisessa vaihtoehdossa potentiaalisista ympäristövaikutuksista merkittävin, muista vaikutuksista keskeisimpiä ovat hiukkasvaikutukset, happamoituminen ja maaperän rehevöityminen (Kuva 108, Kuva 109). Happamoituminen ja hiukkasvaikutus aiheutuvat poltossa syntyvistä rikin ja typen oksideista, samoin hyvitykset syntyvät lähinnä kivihiilen polton välttämistä. Maaperän rehevöitymisen potentiaalisena aiheuttajana ovat biojätteen kompostoinnista syntyvät ammoniakkipäästöt.



Kuva 107. Energiapainotteisen (I E) ja materiaalipainotteisen (I M) järjestelmän CO₂-ekv-päästöt pääkaupunkiseudulla (t CO₂-ekv/vuosi).



Kuva 108. Materiaalipainotteisen järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset pääkaupunkiseudun alueelle (I) mallinnetussa järjestelmävaihtoehdossa.



Kuva 109. Energiapainotteisen järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset pääkaupunkiseudun alueelle (I) mallinnetussa järjestelmävaihtoehdossa.

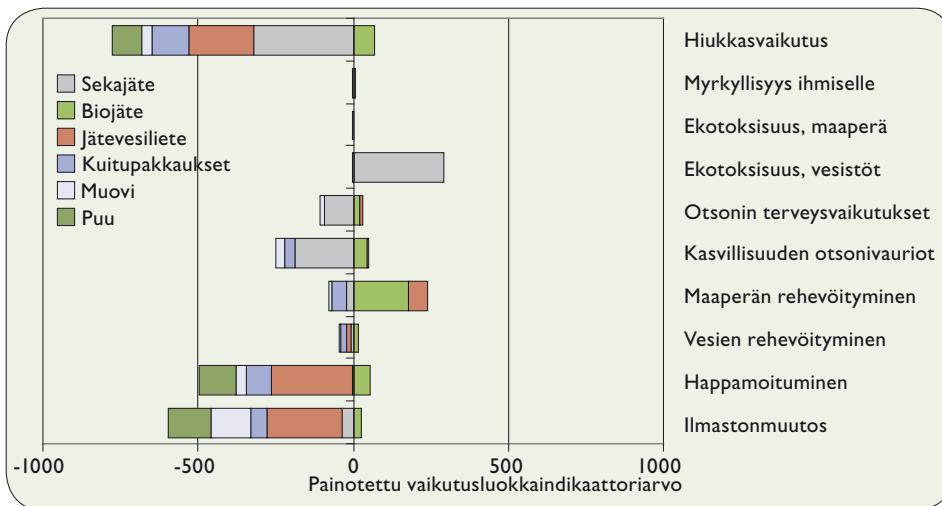
Jätelajikohtaisilla tarkasteluilla voidaan osoittaa alueella syntyvien jätelajien merkitys jätehuollon aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Materiaalipainotteisessa vaihtoehdossa (1M) (Kuva 110) sekajätteen poltolla vältettävät päästöt jäävät pieniksi melko vaatimattoman energian saannon vuoksi, ja samalla muiden jätelajien osuus vaikutuksista korostuu: jätevesilietteen mädätyksestä saadun biokaasun energiahyvytys erottuu selvästi, samoin puun turvehyvytys ja muovin kierrätyksellä vältettävät päästöt. Biojätteen kompostointi tuottaa muista jätelajeista poiketen kaikissa vaikutusluokissa enemmän kuormitusta kuin hyvitystä. Eräitä biojätteen hyväksi luettavia ominaisuuksia, kuten humusvaikutus ja kosteuden säilyttäminen maaperässä, ei tosin ole voitu huomioida biojätteen hyväksi tässä tutkimuksessa käytetyissä vaikutusluokissa.

Ekotoksiset vaikutukset aiheutuvat tuhkan loppusijoituksesta ja tuhkan sisältämistä, potentiaalisesti vapautuvista raskasmetalleista kuten kupari ja sinkki.

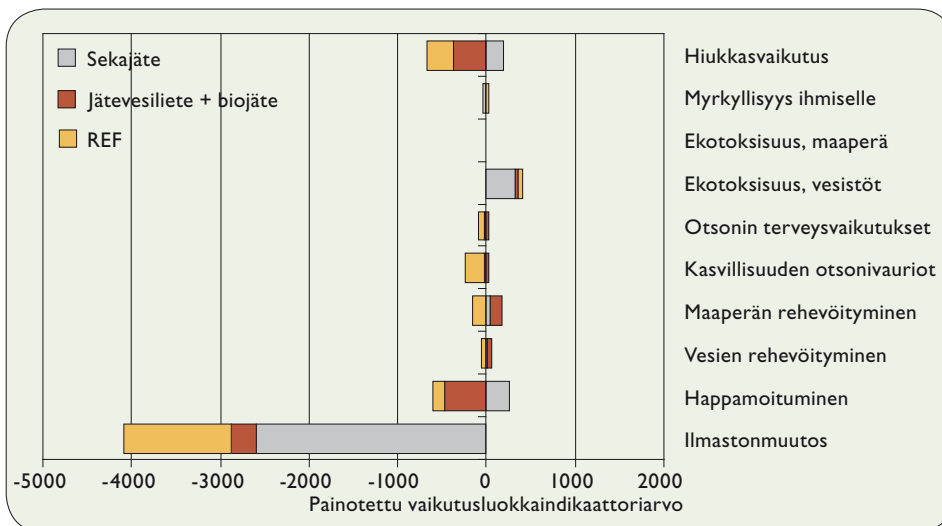
Energiapainotteisessa ratkaisussa (1E) sekajätteestä tuotetun energian avulla vältetyt päästöt ovat materiaalipainotteiseen ratkaisuun verrattuna eri suuruusluokkaa, joten sekajäte hallitsee ilmastomuutoksen hyvityspylvästä (Kuva 111). Kierrätyspoltoaineena poltetut kuidut, puu ja muovi ovat seuraavaksi merkittävimpänä erottuva jätelaji. Biojätteen ja lietteen yhteiskäsittely mädättämällä erottuu myös selvästi biokaasusta tuotetun energian ansiosta säästämiensä päästöjen ansiosta.

Pääkaupunkiseudun jätehuollon ympäristövaikutusten kannalta keskeisimpien tekijöiden voidaan käytetyillä lähtötiedoilla todeta liittyvän energiahyödyntämisen ja biojätteiden ja lietteiden käsittelyn toteuttamistapaan. Hyvällä energian saannolla eli suurella hyötykäyttöön päätyvällä energian osuudella saadaan merkittäviä säästöjä, samoin jätteiden mädätyksellä ja tuotetun kaasun hyötykäytöllä.

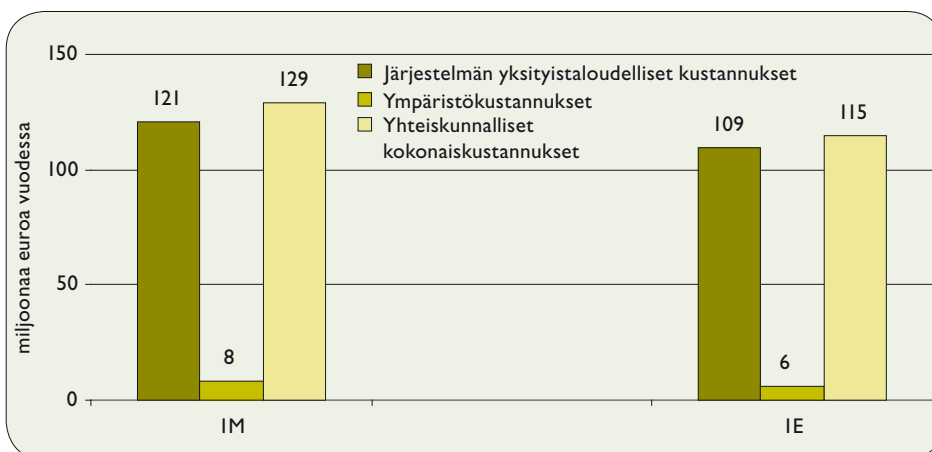
Alueen järjestelmien kannattavuusvertailu kustannusten näkökulmasta osoittaa, että materiaali- ja energiapainotteiset järjestelmät ovat kokonaisuudessaan yhteiskunnalle käytännössä yhtä kalliita, sillä eroa järjestelmien välillä on vain noin 10 % (Kuva 112). Jätetonna kohden laskettuna järjestelmien kokonaiskustannukset ovat noin 230 – 260 euroa. Kustannukset sisältävät sekä järjestelmän toteuttamisesta syntyvät jätehuollon ja jätteperäisestä raaka-aineesta valmistettavien hyödykkeiden ja sähkön ja lämmön tuotantokustannukset sekä toteutumatta jääneen vaihtoehdon vaihtoehtoiskustannukset. Järjestelmien tuottamien päästövaikutusten osuus kokonaiskustannuksista on pieni, vain 5 -6 %.



Kuva 110. Eri jätelajien merkitys pääkaupunkiseudun alueen jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista materiaalipainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (I M). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa. Pylväät eivät siis jakaudu jätelajeittain hyvityksiksi ja kuormitukseksi, vaan nettovaikutus on joko vaikutuksia lisäävä tai niitä vähentävä.



Kuva 111. Eri jätelajien merkitys pääkaupunkiseudun alueen jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista energiapainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (I E). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa.



Kuva 112. Pääkaupunkiseudun (alue I) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannukset jaettuna järjestelmän aiheuttamiin yksityistaloudellisiin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja yhteiskunnallisiin kokonaiskustannuksiin.

Jätelajeittain tarkasteltuna kannattavuusvertailu osoittaa, että alueen kokonaiskustannusten kannalta ratkaisevassa asemassa on sekajätteen käsittely ja hyödyntäminen. Järjestelmän kokonaiskustannukset muodostuvat kummassakin järjestelmässä noin 50 %:n osuudella sekajätteen arinapoltosta ja toteutumatta jääneen skenaarion energian tuottamisesta perinteisillä polttoaineilla, jos alueen sekajäte ohjataan toisaalle poltettavaksi. Ero sekajätteen polton kokonaiskustannuksissa teollisuus- ja taajamaratkaisun välillä on noin 20 % teollisuusratkaisun eduksi (Kuva 113). Tämän tuloksen valossa alueen sekajäte kannattaa siis ohjata poltettavaksi teollisuuden energiahyötykäyttöä varten. Huomionarvoista on, että teollisuusratkaisun kannattavuus suhteessa taajamaratkaisuun säilyy siinäkin tapauksessa, että kummankin arinapolttolaitoksen oletettaisiin korvaavan samoja polttoaineita. Teollisuusratkaisun ylivertaisuus syntyy, koska energian saanto on taajamassa hyödynnettävän energian määrää suurempi.

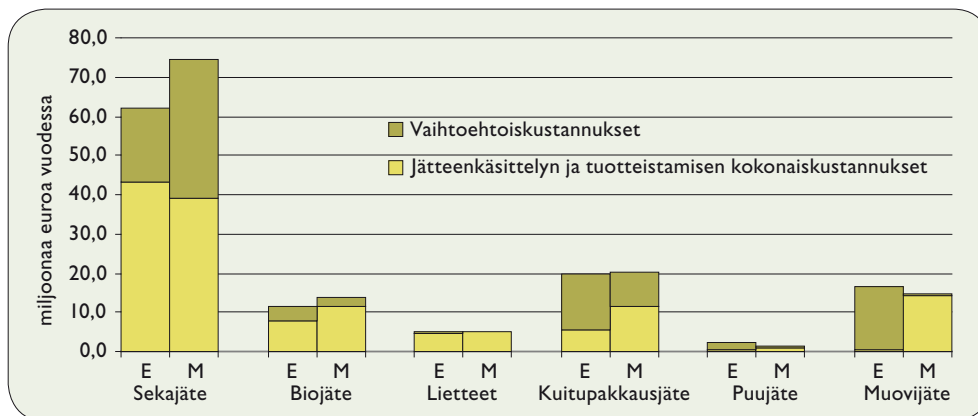
Biojätteen hyödyntämisen osuus alueen kustannuksista on vain noin 10 %. Ero vertailtujen biojätteen käsittelyvaihtoehtojen, kompostoinnin ja mädätyksen välillä sen sijaan on suurempi, noin 50 %, energiapainotteisen järjestelmän eli mädätyksen eduksi (Kuva 113). Kustannusten näkökulmasta kannattavampaa on siis ohjata biojäte mädätykseen, vaikka tällöin turvetta korvaavaa kasvuturvetta syntyykin vähemmän. Edullisempaa kuitenkin on valmistaa tuottamatta jäänyt kasvualusta kasvuturpeesta.

Lietteen hyödyntämisen kustannusosuus alueella on vain muutaman prosentin luokkaa, eikä vertailtavien vaihtoehtojen välillä synny lähestulkoon lainkaan eroa. Jos lietettä mädättämällä saadaan korvattua öljyn polton ja turpeen oton lisäksi kemiallista lannoitetta (skenaario M), ovat kustannussäästöt vain muutaman prosentin verran suuremmat verrattuna tilanteeseen, että lannoitehyvitys ei toteudu ja peltolannoite valmistetaan kemiallisesti.

Kuitupakkausten prosessointi valmiiksi lopputuotteeksi, hylsykartongiksi, tai sähköksi ja lämmöksi muodostaa alueen kustannuksista kummassakin skenaariossa hiekan alle 20 %. Ero kahden tarkasteltavan järjestelmän välillä on kuitenkin mitätön, vain prosentin, kun järjestelmissä huomioidaan myös hylsykartongin tuotantokustannukset. Tuotantokustannukset ovat samat riippumatta siitä, käytetäänkö raaka-aineena Suomesta vai Saksasta tuotua kuitupakkausjätettä. Tämä tarkoittaa, että materiaalipainotteisessa järjestelmässä kuitujätteen prosessointikustannukset ovat lähes yhtä suuret kuin energiapainotteisen järjestelmän vaihtoehtokustannukset. Energiapainotteisen järjestelmän vaihtoehtokustannukset syntyvät, kun hylsykartonki valmistetaan Saksasta tuotavasta kuidusta, kun alueen kuitujäte poltetaan arinakattilassa.

Alueella syntyvän puujätteen materiaalihyödyntäminen ensin valmiiksi lastulevyksi ja levyn valmistuksen vapauttaman hakkeen hyödyntäminen energiaksi on noin 60 % kannattavampaa kuin puun suora energiahyödyntäminen. Kokonaistulokseen kahden alueellisen järjestelmän välillä puujätteellä on kuitenkin vain muutaman prosentin vaikutus.

Uusiomuovituotteen, kuten viemäriputken, valmistuksen tuotantokustannukset ovat raaka-aineiden hintaa lukuun ottamatta samansuuruiset riippumatta siitä, käytetäänkö raaka-aineena ensiömuovia vai uusiomuovia. Materiaalipainotteisessa vaihtoehdossa jätemuovi kierrätetään viemäriputken raaka-aineeksi, joten muovijätteen prosessointikustannukset ovat raaka-aineen kustannusta lukuun ottamatta samat kuin energiapainotteisessa skenaariossa vaihtoehtokustannukset. Nämä vaihtoehtokustannukset syntyvät, kun uusiomuovituote valmistetaan kokonaan ensiömuovista samaan aikaan kun alueen muovijäte poltetaan. Ero muovin kahden vaihtoehtoisen hyödyntämisjärjestelmän välillä onkin siten pieni, vain noin 15 % materiaalipainotteisen skenaarion eduksi. Muovijätteen hyödyntäminen valmiiksi lopputuotteeksi synnyttää määräänsä nähden osan kokonaiskustannuksista silloin, kun tarkasteltavaksi uusiomuovituotteeksi on valittu laadukas, ja tuotantokustannuksiltaan kallis viemäriputki.



Kuva 113. Pääkaupunkiseudun (alue 1) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannusten vertailu jätelajeittain tarkasteltuna ja jaettuna jätehuollon ja tuotteistamisen synnyttämiin kustannuksiin ja järjestelmän vaihtoehtokustannuksiin.

4.3

Alue 2: Teollistunut kaupunkialue (Pirkanmaa)

4.3.1

Skenaariot ja niiden valintaperusteet

Pirkanmaan alueella oli asukkaita noin 465 000 vuoden 2007 lopussa, eli noin puolet pääkaupunkiseudun asukasmäärästä. Alueella eri lähteiden perustella arvioidut jätemäärät on esitetty taulukossa 19.

Pirkanmaan alueella tuotetaan energiaa pääasiassa maakaasulla (Liite 3), ja alueella on puunjalostusteollisuutta, joka käyttää polttoaineenaan pääasiassa öljyä ja puuta. Puunjalostusteollisuuden käytössä oleva maakaasukattila toimii lyhyitä aikoja vuodesta, lähinnä huippukuormatilanteissa. Alueelle on suunnitteilla yksi sekajätettä polttava arinalaitos, jonka teho olisi 80 MW ja poltettavan jätteen määrä olisi noin 200 000 tonnia vuodessa.

Alueen energiapainotteinen järjestelmävaihtoehto (2E) laadittiin siten, että polttolaitos tuottaisi energiaa mahdollisimman tehokkaasti, energiaa hyödynnettäisiin tehokkaasti, ja laitoksen oletettiin sijoittuvan puunjalostusteollisuuden yhteyteen (Taulukko 22) alueen 1 tavoin. Hyvitettäviin polttoaineisiin valittiin lähinnä puuta ja öljyä, koska teollisuuslaitoksen käyttämän maakaasun määrä on niin vähäinen. Lisäksi pidettiin taloudellisessa mielessä epätodennäköisenä, että jätteellä tuotettu energia syrjäyttäisi alueen maakaasukombilaitosten energiantuotantoa.

Tällä hetkellä Pirkanmaan alueen biojätteet kompostoidaan ja lietteet mädätetään, mutta toimia oletettiin tehostettavan käsittelemällä myös biojätteet mädättämällä. Kuitu-, puu- ja muovijätteistä muodostuva energiajäte oletettiin poltettavan samassa laitoksessa kuin sekajätteet.

Toinen Pirkanmaan alueen järjestelmävaihtoehdoista (2M) laadittiin materiaali-energiapainotteisen kiertoa painottaen (Taulukko 23). Sekajätteet poltetaan taajamaan sijoituvassa polttolaitoksessa, jolloin hyödynnettävän energian saanto on pienempi. Biojätteet käsitellään nykyiseen tapaan kompostoimalla ja kuitujätteelle, puulle ja muoville valittiin materiaalia hyödyntävät vaihtoehdot.

Taulukko 22. Tuotetun energian määrää painottava järjestelmävaihtoehto (2 E) teollistunutta kaupunkialuetta edustavalle Pirkanmaalle (alue 2).

Alue 2 E	Sj 2	Bj 2	Liete 2	Kp 2
Prosessointi	-	Mädätys (termof.) ja kompostointi	Terminen kuivaus	-
Poltto	Arinapoltto (teollisuus) E 81%	Biokaasun poltto turvekattilassa	Arinapoltto	Arinapoltto (teollisuus) E 81%
Kierrätys	-	Turvemullan raaka-aine	-	-
Hyvitykset	Öljy 56%, puu 32%, maakaasu	Turpeen poltto	Öljy 56%, puu 32%, maakaasu	Öljy 56%, puu 32%, maakaasu
Lämpö			Kivihiililauhde	Kivihiililauhde
Sähkö			Kivihiililauhde	Kivihiililauhde
Raaka-aine	Kivihiili, öljy, puu, maakaasu	Turpeen otto	Kivihiili, öljy, puu, maakaasu	Kivihiili, öljy, maakaasu, puu
Kaatopaikka	Tuhka	Tuhka, Hyötykäyttöön sovelmaton mädätyslijäämä (kiinteä)	Tuhka	Tuhka

Taulukko 23. Materiaalien kiertoa painottava järjestelmävaihtoehto (2 M) pääkaupunkiseudulle (alue 2).

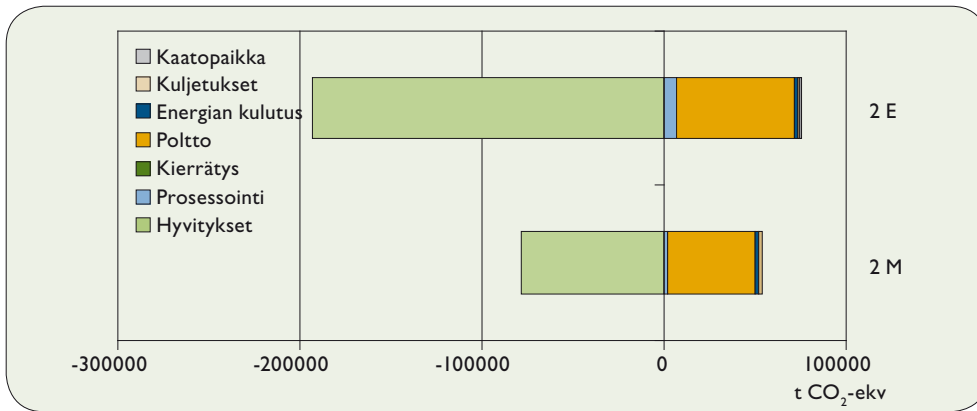
Alue 2 M	Sj 4	Bj 1	Liete 3	Kuidut, M	Puu, M	Muovi, M
Prosessointi	-	Kompostointi	Mädätys (termof.) ja kompostointi	-	Esikäsittely	Esikäsittely
Poltto	Arinapoltto (taajama) E 36%	-	Biokaasun poltto turvekattilassa	-	Vapautuvan puun poltto	-
Kierrätys	-	Turvemullan raaka-aine	Turvemullan raaka-aine, Peltolannoite	-	Lastulevyn raaka-aine	Viemäri-putken raaka-aine
Hyvitykset	Suomi ka	-	Turpeen poltto	-	Turpeen poltto	-
Lämpö						
Sähkö						
Raaka-aine		Turpeen otto	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Rahti Hki - Saksa	-	Ensiö muovin valmistus
Kaatopaikka	Tuhka	-		-	Prosessoinnin rejekti (2 %)	Prosessoinnin rejekti (< 1 %)

4.3.2

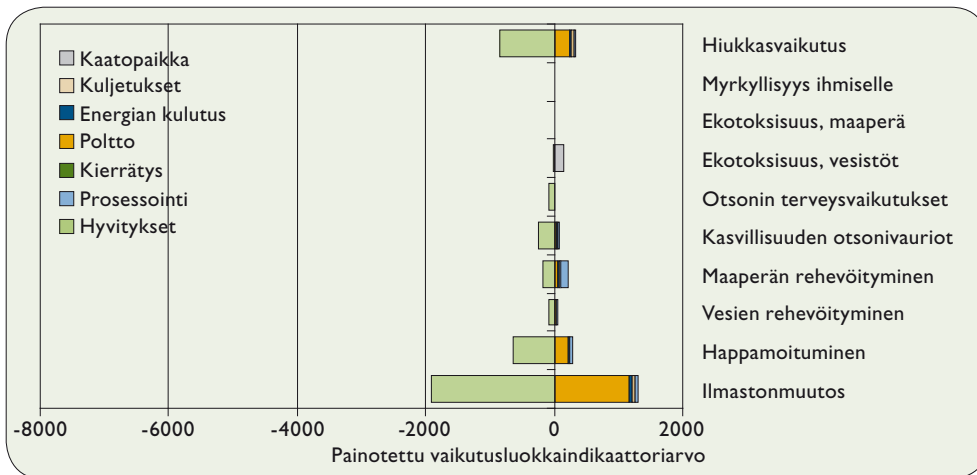
Tulokset

Kasvihuonekaasupäästöjen nettomäärä on Pirkanmaan alueella pienempi energiapainotteisessa kuin materiaalipainotteisessa järjestelmässä (Kuva 114). Energiapainotteiseen järjestelmään tehdyillä valinnoilla on siis vältetty päästöjä enemmän kuin materiaalipainotteiseen järjestelmän valinnoilla. Jätteiden energiahyödyntäminen teollisuuslaitoksen yhteydessä hyödyntää energiaa taajamaan sijoitettua laitosta tehokkaammin, ja teollisuuslaitoksen tapauksessa oletettu vältetty energia sisältää enemmän fossiilisia polttoaineita kuin taajamaan sijoitetun laitoksen tapauksessa.

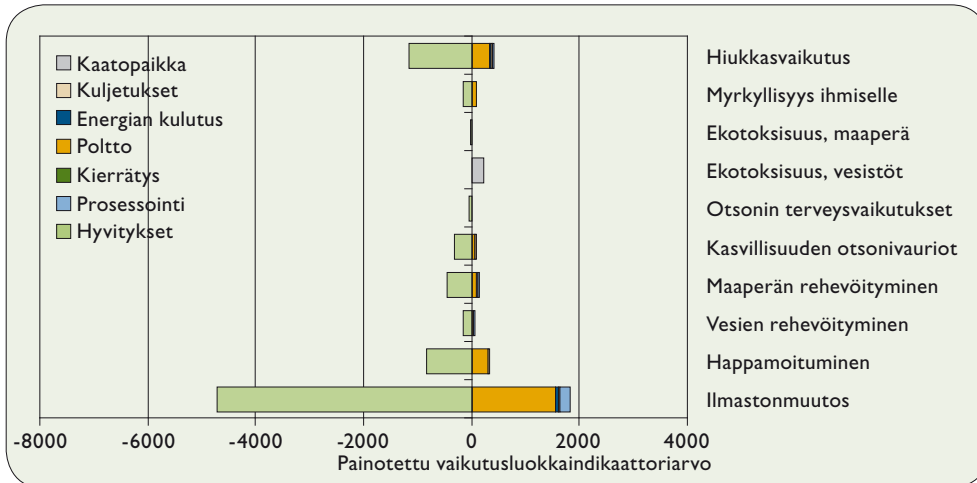
Ilmastonmuutosvaikutus on pääkaupunkiseudun tapaan myös Pirkanmaalla sekä materiaali- että energiapainotteisessa vaihtoehdossa potentiaalisista ympäristövaikutuksista merkittävin. Tämä toisaalta oli melko odotettavaa myös jätelajikohtaisten tulosten perusteella. Muista potentiaalisista ympäristövaikutuksista keskeisimpiä ovat hiukkasvaikutukset, happamoituminen ja maaperän rehevöityminen (Kuva 115, Kuva 116). Happamoituminen ja hiukkasvaikutus aiheutuvat poltossa syntyvistä rikin ja typen oksideista, samoin hyvitykset syntyvät lähinnä kivihiilen ja turpeen polton välttämistä. Potentiaalisena maaperän rehevöitymisen aiheuttajana ovat biojätteen kompostoinnista syntyvät ammoniakkipäästöt.



Kuva 114. Energiapainotteisen (2 E) ja materiaalipainotteisen (2 M) järjestelmän CO₂-ekv-päästöt Pirkanmaalla (alue 2) (t CO₂-ekv/vuosi).



Kuva 115. Materiaalipainotteisen järjestelmän (2 M) tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset Pirkanmaan alueelle (2) mallinnetussa järjestelmävaihtoehdossa.



Kuva 116. Energiapainotteisen järjestelmän (2 E) tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset Pirkanmaan alueelle (2) mallinnetussa järjestelmävaihtoehdossa.

Ympäristövaikutusten jakaminen jätelajikohtaisesti osoittaa, että Pirkanmaan alueella puulla ja muovilla on suurempi osuus jätehuollon ympäristövaikutuksista kuin pääkaupunkiseudulla, kun jätelajikohtaisiksi käsittely- ja hyödyntämisketjuiksi on valittu materiaalipainotteisia vaihtoehtoja (2M) (Kuva 117). Puunjalostusteollisuutta sisältävällä alueella puun ja muovin määrät on arvioitu suuremmiksi verrattuna palvelupainotteiseen pääkaupunkiseutuun. Sekajätteen poltolla vältetyt päästöt jää-

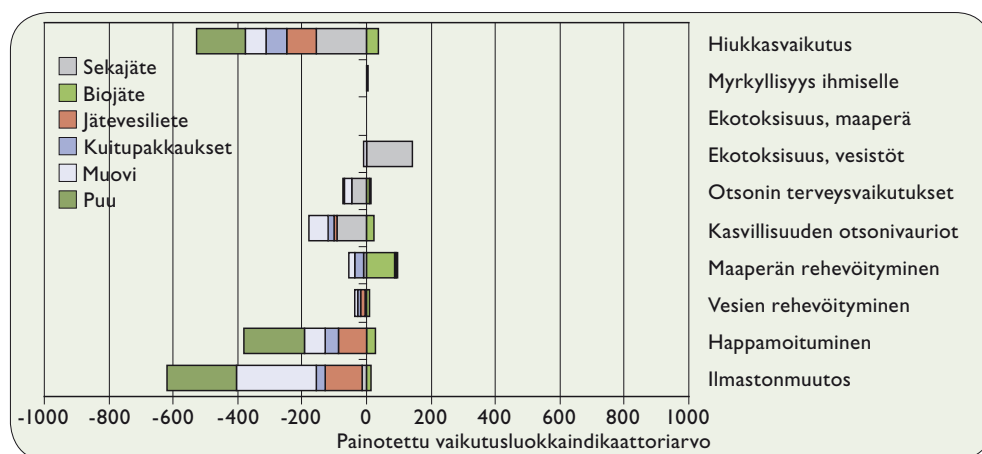
vät vaatimattoman energian saannon vuoksi vähäisiksi, kun taas jätevesilietteen mädätyksen ja biokaasun hyödyt erottuvat selvästi, puun ja muovin jälkeen. Tuhkan loppusijoituksesta mahdollisesti vapautuvat kupari ja sinkki saattavat aiheuttavat ekotoksisia vaikutuksia vesistöissä.

Energiapainotteisessa järjestelmässä (2E) sekajätteen ja sen mukana poltetun jätevesilietteen hyödyntämisellä vältetyt päästöt hallitsevat kaikissa vaikutusluokissa (Kuva 118). Kierrätyspolttoaineen (REF) polttaminen tuottaa energiaa sen verran, että kierrätyspolttoaineen osuus vältetyistä kasvihuoneilmiötä aiheuttavista päästöistä on noin 25 %. Happamoitumista ja hiukkasvaikutusta kuvaavissa vaikutusluokissa REF:n poltolla vältettyjen vaikutusten osuus on samaa suuruusluokkaa, noin 20 – 25 %.

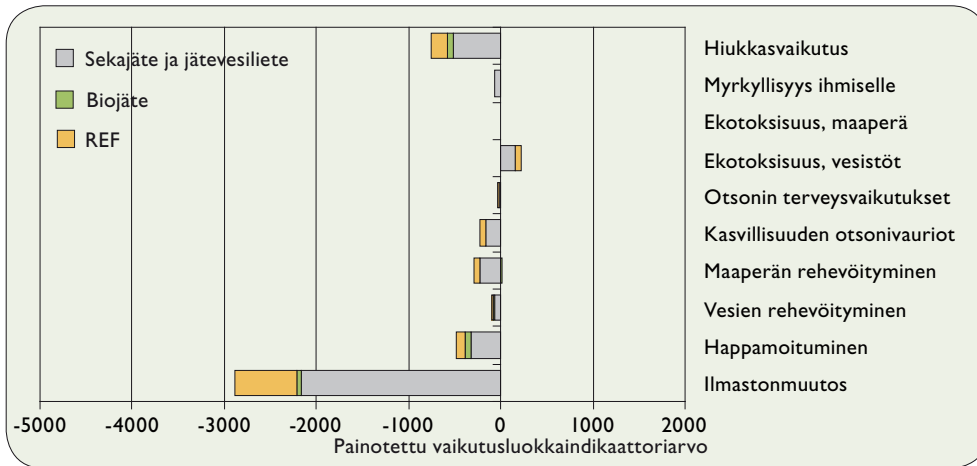
Pirkanmaan alueen jätehuollon ympäristövaikutusten kannalta keskeisimmät tekijät ovat yhtenevät pääkaupunkiseudun tarkastelun kanssa: merkittävintä kokonaisuuden kannalta on energiahyödyntämisen ja biojätteiden ja lietteiden käsittelyn toteuttamistavat. Hyvällä energian saannolla eli suurella hyötykäyttöön päätyvällä energian osuudella samoin kuin jätteiden mädätyksellä ja tuotetun kaasun hyötykäytöllä voidaan saada merkittäviä päästösäästöjä.

Kustannusten näkökulmasta materiaali- ja energiapainotteiset järjestelmät ovat Pirkanmaalla alueen 1 tavoin yhteiskunnalle käytännössä yhtä kalliita (Kuva 119). Jätetonnin kohden laskettuna järjestelmän kokonaiskustannukset ovat noin 355 - 390 euroa. Järjestelmien käsittelytoiminnot ja päästöt muistuttavat alueilla 1 ja 2 pitkälti toisiaan, joten ympäristökustannusten osuus kokonaiskustannuksista jää tälläkin kertaa alle 6 %:n.

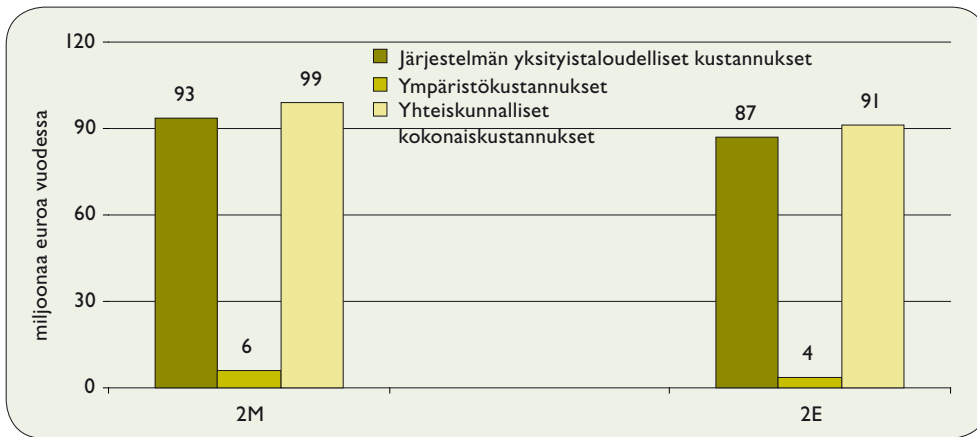
Jätelajeittain tarkasteltuna kannattavuusvertailu Pirkanmaan alueella osoittaa, että sekajäte kannattaa polttaa teollisuuden lähellä sijaitsevassa arinalaitoksessa enemminkin kuin taajamassa, biojätteet ja lietteet kannattaa käsitellä kompostoinnin sijaan laitosmädättämässä, puujäte hyödyntää ensin uusioraaka-aineena lastulevyn valmistuksessa ja vapautuva hake energiana, ja muovijäte ohjata uusiokäyttöön. Kuitupakkausjätteen kustannusero kahden vaihtoehdon välillä on merkityksetön. (Kuva 120).



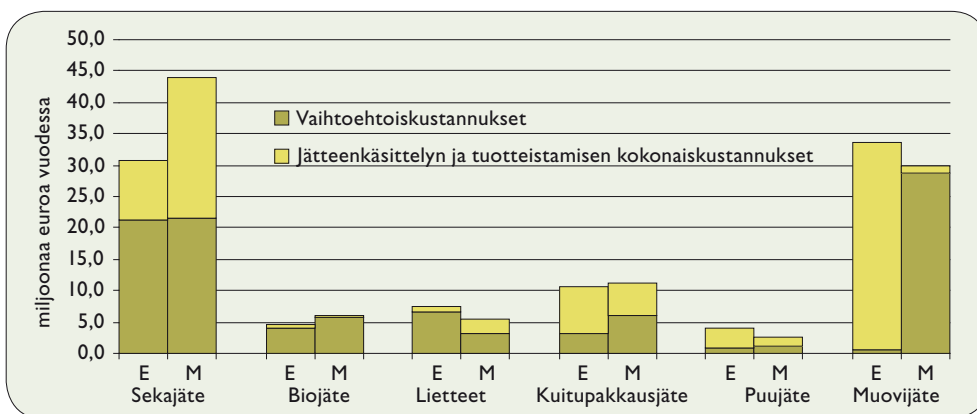
Kuva 117. Eri jätelajien merkitys Pirkanmaan alueen (2) jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista materiaalipainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (2 M). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa. Pylväät eivät siis jakaudu jätelajeittain hyvätyksiksi ja kuormitukseksi, vaan nettovaikutus on joko vaikutuksia lisäävä tai niitä vähentävä.



Kuva 118. Eri jätelajien merkitys Pirkanmaan alueen (2) jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista energiapainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa. Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa.



Kuva 119. Pirkanmaan alueen (alue 2) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannukset jaettuna järjestelmän aiheuttamiin yksityistaloudellisiin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja yhteiskunnallisiin kokonaiskustannuksiin.



Kuva 120. Pirkanmaan (alue 2) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannusten vertailu jätelajeittain tarkasteltuna ja jaettuna jätehuollon ja tuotteistamisen synnyttämiin kustannuksiin ja järjestelmän vaihtoehtokustannuksiin.

Pirkanmaan jätehuollon kustannustarkastelussa nousevat siis esiin hyvin samankaltaiset tekijät kuin pääkaupunkiseudullakin, ja tälläkin kertaa kokonaiskustannusten kannalta ratkaisevassa asemassa on sekajätteen käsittely. Ero energiapainotteisen vaihtoehdon hyväksi on kuitenkin jopa 40 %, eli kaksinkertainen pääkaupunkiseudun tarkasteluun nähden. Ero syntyy korvattavaksi oletetuista energialähteistä: Pirkanmaalla teollisuuden lähellä sijaitsevan arinalaitoksen oletetaan korvaavan erillistä lämmöntuotantoa öljystä varsin merkittävällä osuudella, kun taas pääkaupunkiseudulla lämpöhyvityksen on katsottu syntyvän lähinnä puuhun nähden. Kysymys arinapolttolaitoksen sijoittamisesta on siis Pirkanmaalla pääkaupunkiseutuakin tärkeämpi: sekajätteen käsittelyn yhteiskunnassa synnyttämät kokonaiskustannukset ovat polttolaitoksen taajamasijoituksessa yli 40 % korkeammat kuin teollisuussijoituksessa. Arinapolttolaitoksen energian saannolla eli käytännössä hyötykäytettävän energian määrällä on siten ratkaiseva rooli.

Hyödyntämiskelpoisen muovijätteen varsin suureksi arvioitu saanto Pirkanmaan alueelta (Taulukko 19) ja korvattavaksi oletettujen polttoaineiden yhdistelmä vaikuttavat siihen, että muovijätteen käsittelyn kustannukset muodostuvat Pirkanmaan alueella lähes sekajätteen veroiseksi tekijäksi. Alhaisemmilla uusiomuovituotteen tuotantokustannuksilla muovin kustannusosuus koko alueen kustannuksista vähenisi, mutta ei vaikuttaisi muovin hyödyntämisvaihtoehtojen keskinäiseen paremmuuteen. Muiden jätejakeiden osalta Pirkanmaan alueen kannattavuustarkastelu noudattaa samoja perusteita kuin alueella 1 (4.2.2).

4.4

Alue 3: Alkutuotantopainotteinen maaseutu (Pohjois-Karjala)

4.4.1

Skenaariot ja niiden valintaperusteet

Pohjois-Karjala on maaseutuvoittoista, tuotantotoiminnaltaan mm. alkutuotantoa sisältävää aluetta, jossa asutus on keskittynyt pääasiassa muutaman kaupungin alueelle. Koko alueella on asukkaita noin 167 000.

Pohjois-Karjalan alueen jätehuolto perustuu tällä hetkellä kahteen kaatopaikkaan, Joensuun alueelta erilliskerätyn biojätteen avokompostointiin ja jätevesilietteiden mädätykseen. Alueen lämpölaitokset käyttävät polttoaineinaan lähinnä öljyä ja puuta, mutta myös turvetta.

Pohjois-Karjalassa ei nykyisin ole jätettä hyötykäyttäviä energialaitoksia, mutta alueen eteläosaan on suunniteltu kapasiteetiltaan 100 000 tonnia kierrätyspolttoainetta vuosittain polttavaa, noin 40 MW:n leijukerroslaitosta. Laitos käyttäisi polttoaineenaan teollisuuden tuottamaa, REF-laatuluokan kierrätyspolttoainetta.

Energiapainotteisia järjestelmiä laadittiin kaksi. Toisessa tavoitteena oli etsiä mahdollisimman realistinen sekajätteen polttomuoto alueen melko vähäisille sekajättemäärille, ja ratkaisuksi valittiin leijukerroslaitos, joka voisi polttaa sekajätteestä mekaanisesti valmistettua RDF-kierrätyspolttoainetta (3 Ea) (Taulukko 24). Toisessa vaihtoehdossa alueen teollisuuden tuottama energijäte poltettaisiin Kiteelle suunnitellussa polttolaitoksessa (3 Eb) (Taulukko 25). Sekajäte päätyisi nykykäytännön mukaisesti edelleen kaatopaikalle, mutta sen sisältämän biojätteen määrää vähennettäisiin tehostamalla biojätteen erilliskeräystä. Samalla oletettiin, että alueella investoitaisiin uuteen mädätyslaitokseen korvaamaan nykyinen avokompostointi. Mädate kuivattaisiin termisesti ja tuotettaisiin metsälannoitteeksi.

Materiaalihyötykäyttöä painottavassa järjestelmässä (3 M) lähtöoletuksena oli, että Kiteelle suunniteltu polttolaitos ei toteutuisi (Taulukko 26). Sekajätteen sisältämän

biojätteen määrää vähennettäisiin tälläkin kertaa tehostamalla biojätteen erilliskeräystä. Liete ja biojäte mädätetään yhdessä ja kuivataan termisesti metsälannoitteen raaka-aineeksi. Kuidulle, muoville ja puulle on valittu samat kierrätysvaihtoehdot kuin alueiden 1 ja 2 materiaaliskenaarioissa.

Taulukko 24. Tuotetun energian määrää painottava järjestelmävaihtoehto (3 Ea) tyypiltään alkutuotantoon painottuvaa maaseutua edustavalle Pohjois-Karjalan alueelle (alue 3).

Alue 3 Ea	Sj 5	L&Bj 4	Kp 4
Prosessointi	RDF-valmistus	Mädätys (termof.), terminen kuivaus	REF-valmistus
Poltto	RDF-polttolaitos, E 75%	Biokaasun poltto turvekattilassa	RDF-polttolaitos, E 75%
Kierrätys	-	Metsälannoite, Peltolannoite	-
Hyvitykset	Öljy 64%, puu 36%	Turpeen poltto	Öljy 64%, puu 36%
Lämpö			Kivihiililauhde
Sähkö	Kivihiililauhde		Kivihiililauhde
Raaka-aine	Kivihiili, öljy, puu	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Kivihiili, öljy, puu
Kaatopaikka	Tuhka	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	Prosessoinnin rejekti (3 %), tuhka

Taulukko 25. Tuotetun energian määrää painottava järjestelmävaihtoehto (3 Eb) tyypiltään alkutuotantoon painottuvaa maaseutua edustavalle Pohjois-Karjalan alueelle (alue 3).

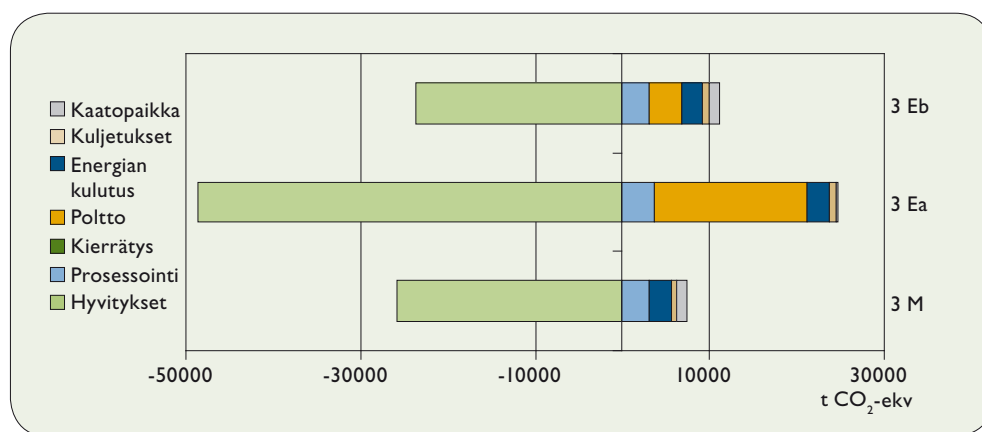
Alue 3 Eb	Sj 7	L&Bj 4	Kp 5
Prosessointi	-	Mädätys (termof.), terminen kuivaus	REF- valmistus
Poltto	Kp-kaasun poltto, E 60%	Biokaasun poltto turvekattilassa	REF-polttolaitos, E 90%
Kierrätys	-	Metsälannoite, Peltolannoite	-
Hyvitykset	Turpeen poltto	Turpeen poltto	Öljy 53%, puu 47%
Lämpö			Kivihiililauhde
Sähkö			
Raaka-aine	Turpeen otto	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Kivihiili, öljyn jalostus, puun tuotanto
Kaatopaikka	Sekajäte	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	Prosessoinnin rejekti (3 %), tuhka

Taulukko 26. Kierrätetyn materiaalin määrää painottava järjestelmävaihtoehto (3 M) tyypiltään alkutuotantoon painottuvaa maaseutua edustavalle Pohjois-Karjalan alueelle (alue 3).

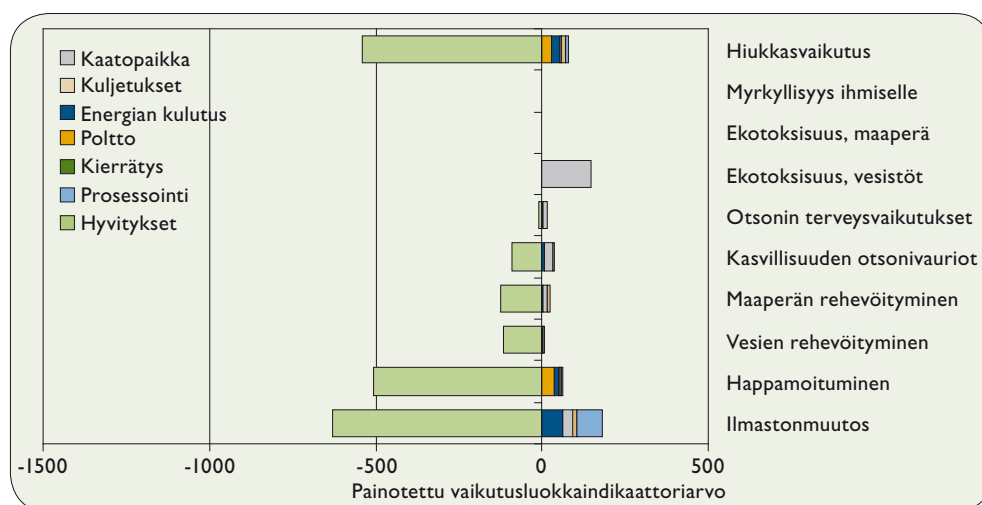
Alue 3 M	Sj 7	L&Bj 4	Kuidut, M	Puu, M	Muovi, M
Prosessointi	-	Mädätys (termof.), Terminen kuivaus	-	Esikäsitteily	Esikäsitteily
Poltto	Kp-kaasun poltto, E 60%	Biokaasun poltto turvekattilassa	-	Vapautuvan puun poltto	-
Kierrätys	-	Metsälannoite, Peltolannoite	-	Lastulevyn raaka-aine	Viemäriputken raaka-aine
Hyvitykset	Turpeen poltto	Turpeen poltto	-	Turpeen poltto	-
Lämpö					
Sähkö					
Raaka-aine	Turpeen otto	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Rahti Hki - Saksa	Turpeen otto	Ensiö muovin valmistus
Kaatopaikka	Sekajäte	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	-	Prosessoinnin rejekti (2 %),	Prosessoinnin rejekti (< 1 %),

Tulokset

Muilla alueilla saatuja tuloksia myötäillen kasvihuonekaasupäästöjen nettomäärä on Pohjois-Karjalankin alueella pienimmillään energiapainotteisesta järjestelmää kuvaavassa skenaariossa (Kuva 121). Energiapainotteisessa järjestelmässä 3 Ea sekajätteestä on valmistettu kierrätyspolttoainetta, joka poltetaan RDF-laitoksessa yhdessä teollisuuden jätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen kanssa. Energiavaihtoehdossa 3 Eb vain teollisuuden jätteet poltetaan ja sekajäte on sijoitettu kaatopaikalle. Näin saadaan samaa suuruusluokkaa oleva tulos kuin materiaalipainotteisessa järjestelmässä (3 M), jossa sekajätteen biojätettä on oletettu otettavan tehostetusti talteen. Vältetyt päästöt syntyvät turpeen korvaamisesta kaatopaikkakaasun ja mädätyskaasun poltolla sekä energiaskenaariossa 3 Eb kivihiililauhteella tuotetun sähkön välttämisestä. Sekajätteen määrät ovat niin suuret muihin jättejakeisiin verrattuna, että sille valitut ratkaisut käytännössä määräävät alueen jätehuoltoratkaisujen ilmastonmuutosvaikutusten suuruuden.

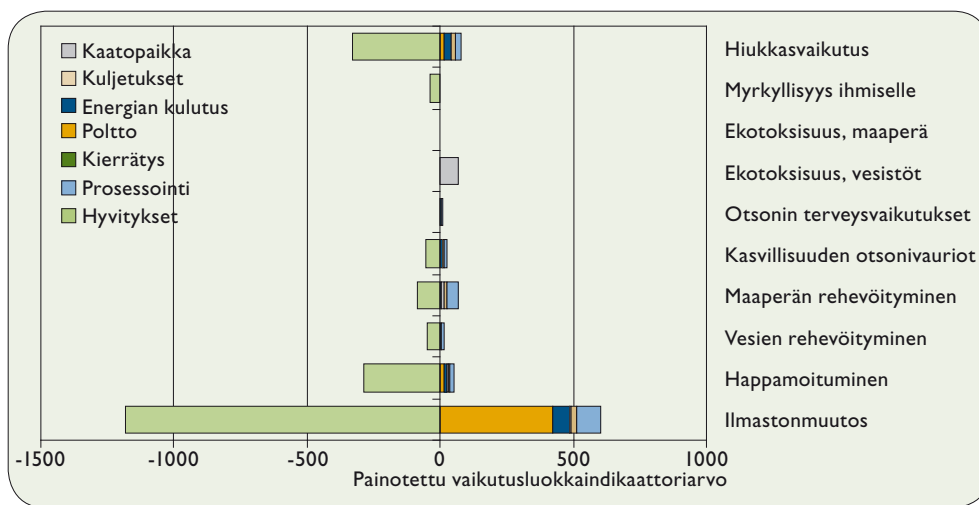


Kuva 121. Energiapainotteisten (3 Ea ja Eb) ja materiaalipainotteisen (3 M) järjestelmän CO₂-ekv-päästöt Pohjois-Karjalan alueella (alue 3) (t CO₂-ekv/vuosi).

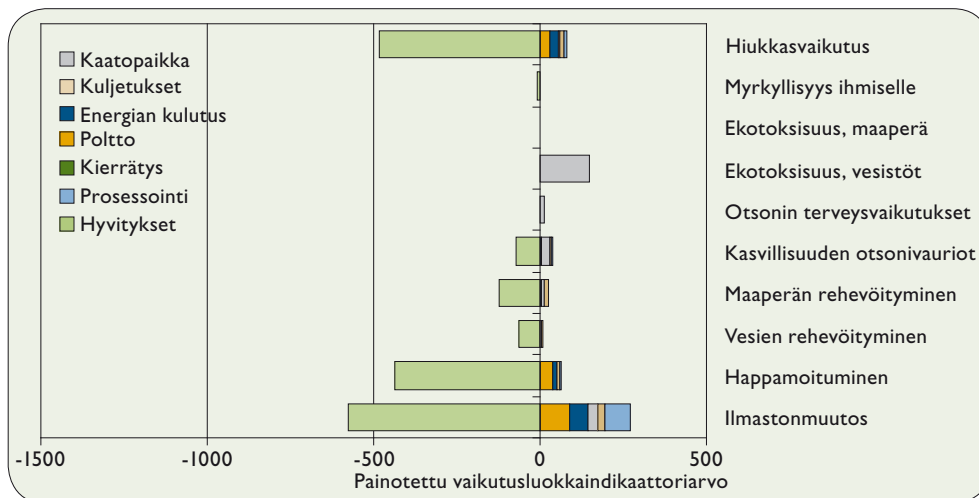


Kuva 122. Materiaalipainotteisen järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset tyypiltään alkutuotantoon perustuvaa maaseutua edustavalla Pohjois-Karjalan alueella (3 M).

Muihin potentiaalsiin ympäristövaikutuksiin verrattuna ilmastonmuutosvaikutus on jälleen merkittävin, mutta ei tällä kertaa yhtä yksiselitteisesti kuin alueilla 1 ja 2 (Kuvat 122 – 124). Muista ympäristövaikutuksista potentiaalisimpia ovat hiukkasvaikutukset ja happamoituminen, joita aiheuttavat poltossa syntyvät SO_x - ja NO_x -päästöt ja joiden syntyä voidaan toisaalta ehkäistä kivihiilen ja turpeen polttoa välttämällä.



Kuva 123. Energiapainotteisen, sekajätteen polttoa sisältävän järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset tyypiltään alkutuotantoon perustuvaa maaseutua edustavalla Pohjois-Karjalan alueella (3 Ea).



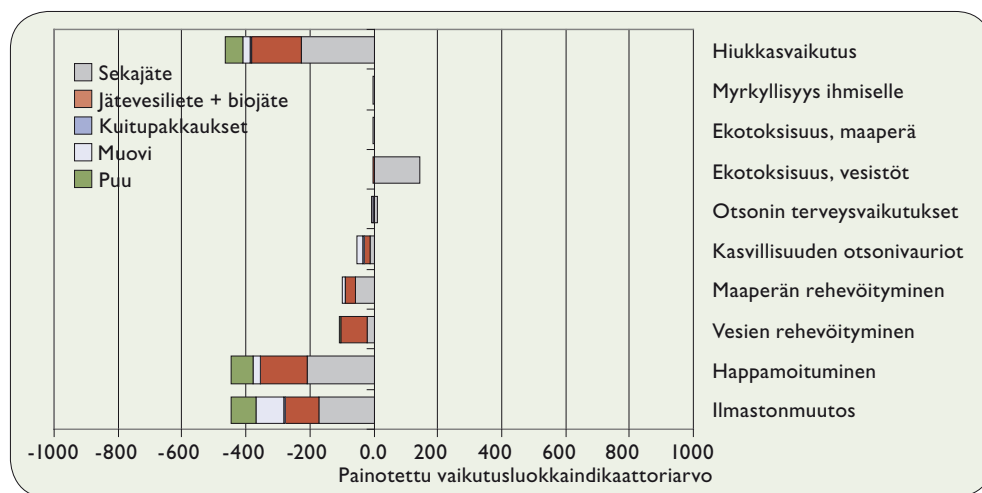
Kuva 124. Energiapainotteisen, sekajätteen kaatopaikkasijoitusta sisältävän järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset tyypiltään alkutuotantoon perustuvaa maaseutua edustavalla Pohjois-Karjalan alueella (3 Eb).

Pohjois-Karjalassa jätehuollon ympäristövaikutukset liittyvät sekajätteen, biojätteen ja lietteiden käsittelyvalintoihin (Kuva 125 ja Kuva 127). Sekajätettä syntyy määrällisesti eniten, joten sillä on myös merkittävin rooli potentiaalisena vältettyjen ympäristöhyvitysten tuottajana. Biojätteiden ja lietteiden yhteenlaskettu potentiaali ylittää kuitenkin sekajätteen kanssa lähes samalle tasolle silloin, kun sekajätettä ei aiota hyödyntää energiana. Teollisuuden kuitu-, puu- ja muovijätteiden arvioitujen määrät on alueella arvioitu vähäisiksi, joten niiden jätehuoltotoimenpiteetkään eivät erotu merkittävästi missään vaikutusluokassa.

Kaatopaikalle sijoitetun sekajätteen ja tuhkan sisältämät metallit voivat kaikissa vaihtoehdoissa aiheuttaa ekotoksisia vaikutuksia vesistöissä. Erilaisilla jätehuoltotoimenpiteillä vältettävissä olevat päästöt hallitsevat kuitenkin kaikissa muissa vaikutusluokissa.

Jätehuoltojärjestelmien yhteiskunnallisessa kannattavuustarkastelussa kolmen eri vaihtoehdon kustannukset vertautuvat toisiinsa vain pareittain, koska kannattavuustarkastelu ottaa huomioon toteutumatta jääneen järjestelmän synnyttämät vaihtoehtoiskustannukset. Pareittainen vertailu kolmen skenaarion välillä kertoo, että energiapainotteisia järjestelmiä kannattavampi on jätteestä tuotetun materiaalin määrää painottava vaihtoehto: ero energiapainotteisiin järjestelmiin on noin 15 %.

Jätteestä tuotetun energian määrää painottavat vaihtoehdot ovat yhteiskunnalle käytännössä lähes yhtä kalliita alle kolmen prosentin keskinäisellä erolla. Järjestelmien kokonaiskustannukset voidaan esittää yhtä aikaa vain kahdelle vaihtoehdolle, koska vertailu on toteutettu aina kahden eri järjestelmän välillä. Ensimmäisinä tulospylväinä on esitetty kannattavimman vaihtoehdon M ja toiseksi kannattavimman vaihtoehdon Eb kokonaiskustannukset (Kuva 128), jotka jätetonnia kohden laskettuna ovat noin 200 – 230 e. Molemmassa vaihtoehdoissa sekajäte on tehostetun biojätteen keräilyn jälkeen sijoitettu kaatopaikalle. Ympäristökustannusten osuus kokonaiskustannuksista jää tälläkin kertaa merkityksettömäksi (alle 6 %).

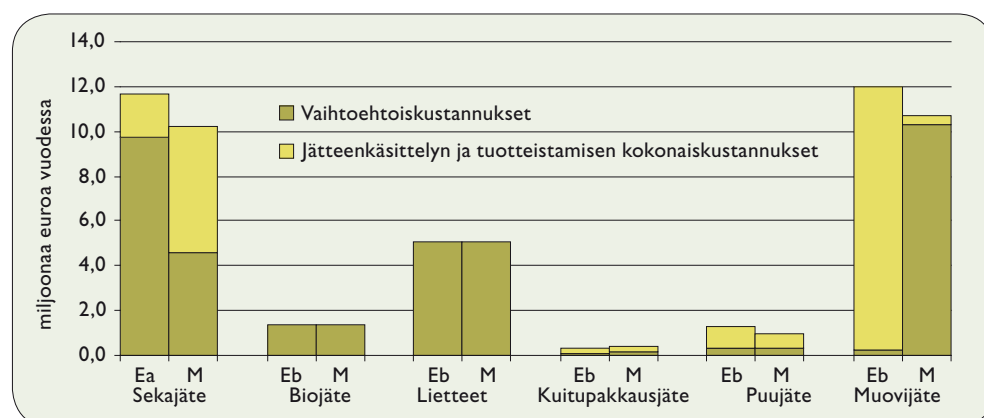


Kuva 125. Eri jätelajien merkitys Pohjois-Karjalan alueen jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista materiaalipainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (3 M). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa. Pylväät eivät jakaudu jätelajeittain hyvityksiksi ja kuormitukseksi.

Pohjois-Karjalan alueella syntyvien kokonaiskustannusten jätelajikohtaisella vertailulla voidaan arvioida eri jätelajien merkitystä kokonaisuuden kannalta. Jätelajikohtaisen vertailun toiseksi pariksi on valittu sekajätteen kaatopaikkasijoituksen sisältävä materiaalipainotteinen vaihtoehto (3M). Toisena parina on muille jätelajeille kierrätyspolttoaineen REF-laitospolttoa sisältävä vaihtoehto (3Eb), mutta sekajätteelle RDF-laitospolttio kiertoleijukattilassa (3Ea) (Kuva 129). Biojätteiden ja lietteen käsittely, mädätys ja sitä seuraava terminen kuivaus on sama kaikissa kolmessa järjestelmävaihtoehdossa.

Pohjois-Karjalan alueella syntyvien jätteiden jätelajikohtaisten osuuksien vertailu osoittaa, että jätehuollon kokonaiskustannusten kannalta oleellista on - muiden alueiden tapaan - sekajätteelle valittu käsittely. Sekajätteen sisältämä energiapotentiaali on niin merkityksellinen, että sekajätteen hyödyntämättä jättäminen synnyttää yhteiskunnassa merkittävät vaihtoehtokustannukset, kun tuottamatta jäänyt energia on tuotettava korvattavaksi oletetuista polttoaineista. Tästä huolimatta sekajätteen loppusijoitus sellaisenaan on yhteiskunnassa kannattavampaa kuin varsin kalliiden RDF- ja REF-polttolaitosten perustaminen. Tulos osoittaa, että sekajätteen loppusijoittamisen kieltäminen tasaisesti koko maassa ei välttämättä ole kustannustehokasta.

Merkittävät kustannukset alueella syntyvät myös muovijätteen käsittelystä ja muovin tuotteistamisesta valmiiksi lopputuotteeksi. Tämä johtuu jo aiemmin mainituista kalliista tuotantokustannuksista; jätehuollon kustannukset eli kuljetuksen ja esikäsittelyn kustannukset ovat muovin järjestelmäkustannuksista vain muutaman prosentin luokkaa. Muovin aiheuttama kustannusosuus järjestelmässä olisi alhaisempi, mikäli tarkasteluun otettu, valmistettava lopputuote olisi tuotantokustannuksiltaan halvempi. Muiden alueiden tapaan muovijätteelle kannattavampi vaihtoehto on hyödyntää muovi uusioraaka-aineena. Myös puujätteelle ja kuitupakkauksille pätevät samat perustelut kuin muilla alueilla, joskin kustannusero materiaalihyödyntämisen ja polton välillä on nyt hieman suurempi, kun poltto tapahtuu arinapolttio yksikkökustannuksiltaan kalliimmassa REF- tai RDF-polttolaitoksessa.



Kuva 129. Pohjois-Karjalan (alue 3) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannusten vertailu jätelajeittain tarkasteltuna ja jaettuna jätehuollon ja tuotteistamisen synnyttämiin kustannuksiin ja järjestelmän vaihtoehtokustannuksiin.

Alue 4: Teollistunut maaseutu (Pohjois-Pohjanmaa)

Skenaariot ja niiden valintaperusteet

Pohjois-Pohjanmaata voi kuvata tyypiltään maaseutumaisen ja kaupunkimaisen alueen yhdistelmäksi, jolle luonteenomaista on kaupunkeihin keskittynyt, suuren mittakaavan raskas puu-, paperi- ja terästeollisuus. Alueen asukasmäärä on noin 383 400. Alueella on arvioitu syntyvän sekajätettä noin 111 000 tonnia vuosittain, ja alueellisissa selvityksissä todettu puun määrä, 10 000 t vuodessa, on suhteellisen suuri muihin alueisiin verrattuna.

Oulun alueen energiahuollolle tyypillisiä ovat useat alle 50 MW:n laitokset, jotka käyttävät polttoaineenaan sekä turvetta että puuta. Energiantuotannon hallitsevin polttoaine koko Pohjois-Suomessa onkin juuri turve (Liite 3).

Pohjois-Pohjanmaan alueen jätehuolto perustuu tällä hetkellä kolmen kaatopaikan lisäksi biojätteiden kompostointiin ja jätevesilietteiden mädätykseen, lisäksi alueella on lietteitä kemiallisesti käsittelevä jätevesien puhdistuslaitos. Alueella ei ole paljon viljan tuotantoa vaan pelloilla kasvatetaan lähinnä nurmea meijeritalouden tarpeisiin. Näin ollen peltojen ravinnetarve tulee pääosin katettua alueen sikatalouden lietteillä. Alueella ei nykyisin ole jätettä hyötykäyttäviä energialaitoksia lukuun ottamatta Haapavedellä sijaitsevaa polttolaitosta, joka polttaa pieniä määriä elintarviketeollisuuden jätevesilietteitä. Sillä ei kuitenkaan ole lupaa ottaa vastaan muita lietteitä tai jätteitä. Oulun ja muun Pohjois-Pohjanmaan teollisuusjätteitä on kuitenkin toimitettu useiden vuosien ajan Kajaanissa, noin 100 – 150 km päässä sijaitsevaan polttolaitokseen. Suunnitelmia on rakentaa Ouluun, Kemiran teollisuuslaitoksen yhteyteen, noin 55 MW:n eli 130 000 jätetonna vuodessa polttamaan kykenevä arinalaitos.

Alueelle muodostetuista järjestelmistä energiapainotteisessa (4E) oletettiin, että arinapolttolaitos rakennettaisiin teollisuuslaitoksen yhteyteen (Taulukko 27). Lisäksi oletettiin, että polttoaineena käytetty jäte korvaisi turvevoimalassa käytettyä turvetta. Biojätteet ja lietteet oletettiin käsiteltävän alueen reunaosissa maatilakokoluokan mädättämöissä, joiden lopputuotteet hyödynnettäisiin pellolla ja kaupunkialueella perinteisesti laitoksessa mädättäen. Maatilakokoluokan laitoksissa voitaisiin yhteiskäsitellä myös sikalalietteet. Tätä ei kuitenkaan laskettu lisähyödyksi, vaikka sitä voidaankin pitää toteutuskelpoisena vaihtoehtona, josta on käytännön esimerkkejä (Kuittinen ym. 2007).

Materiaalihyötykäyttöä painottavassa järjestelmässä (4 M) (Taulukko 28) sekajätteen käsittelyksi valittiin kierrätyspolttoaineen valmistus mekaanisesti ja RDF-kierrätyspolttoaineen polttaminen pieninä osuuksina alueen olemassa olevissa kattiloissa. Biojätteiden ja lietteiden käsittelyvaihtoehdoksi valittiin tässä yhteydessä kompostointi, koska biomassan tarvetta on alueelle myös viherrakentamisen puolella.

Taulukko 27. Tuotetun energian määrää painottava järjestelmävaihtoehto (4 E) tyypiltään teollistunutta maaseutua edustavalle Pohjois-Pohjanmaan alueelle (alue 4).

Alue 4 E	Sj 3	L&Bj 1 (13 %)	L&Bj 2 (87 %)	Kp 3
Prosessointi	-	Maatila-mädätys (termof.)	Mädätys (termof.) ja kompostointi	-
Poltto	Arinapoltto (teollisuus) E 83%	Biokaasun poltto mikroturbiinilla	Biokaasun poltto turvekatilassa	Arinapoltto (teollisuus) E 83%
Kierrätys	-	Peltolannoite	Turvemullan raaka-aine Peltolannoite	-
Hyvitykset	Turpeen poltto	Suomi ka	Turpeen poltto	Turpeen poltto
Lämpö		Kivihiililauhe		
Sähkö	Turpeen otto	N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto
Raaka-aine	Turpeen otto	N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto, N- ja P-ravinteiden valmistus	Turpeen otto
Kaatopaikka	Tuhka	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	Hyötykäyttöön soveltumaton mädätysylijäämä (kiinteä)	Tuhka

Taulukko 28. Kierrätetyn materiaalin määrää painottava järjestelmävaihtoehto tyypiltään teollistunutta maaseutua edustavalle Pohjois-Pohjanmaan alueelle (alue 4).

Alue 4 M	Sj 6	Bj I	Liete 4	Kuidut, M	Puu, M	Muovi, M
Prosessointi	RDF-valmistus	Kompostointi	Kemicond ja kompostointi	-	Esikäsittely	Esikäsittely
Poltto	Seospolttu 2% E 88%	-	-	-	Vapautuvan puun poltto	-
Kierrätys	-	Turvemullan raaka-aine	Turvemullan raaka-aine	-	Lastulevyn raaka-aine	Viemäriputken raaka-aine
Hyvitykset	Turpeen poltto	-	-	-	Turpeen poltto	-
Lämpö						
Sähkö						
Raaka-aineet	Turpeen otto	Turpeen otto	Turpeen otto	Rahti Hki - Saksa	-	Ensiö muovin valmistus
Kaatopaikka	Tuhka	-	-	-	Prosessoinnin rejekti (2 %)	Prosessoinnin rejekti (< 1 %)

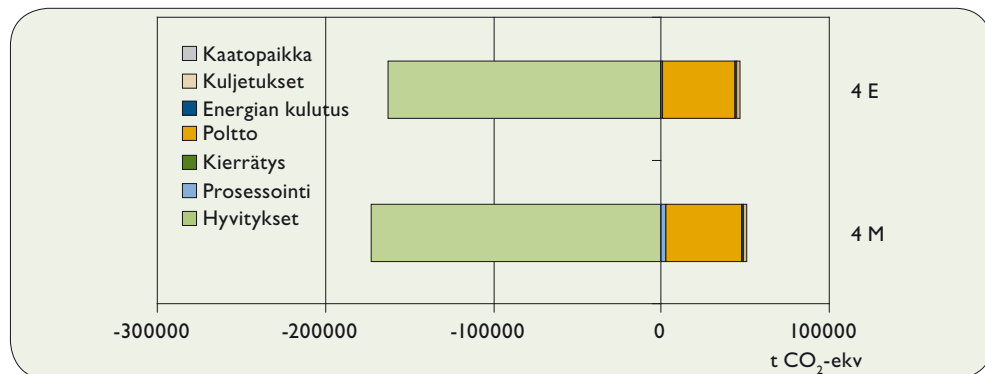
4.5.2

Tulokset

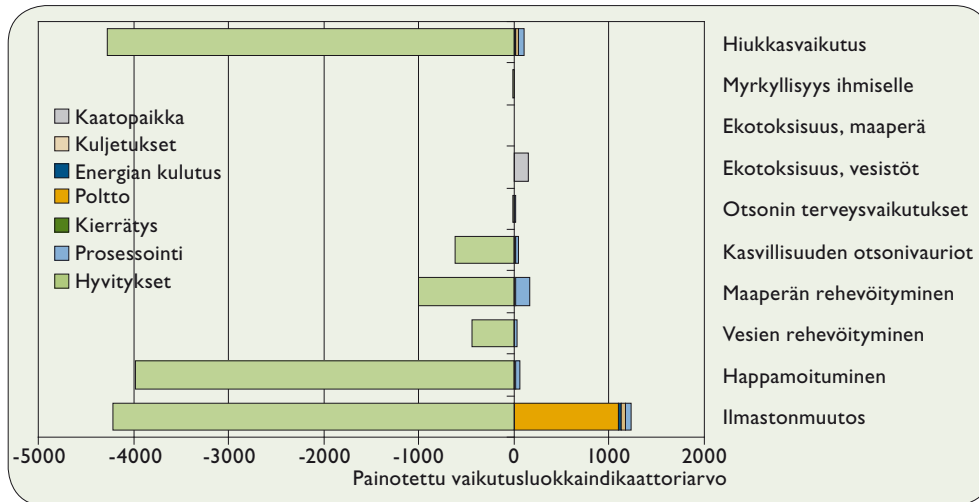
Kasvihuonekaasupäästöjen nettomäärät on Pohjois-Pohjanmaan alueille tarkastelluissa järjestelmissä käytännössä yhtä suuret - nettopäästöissä eroa on vain noin 5 % materiaalipainotteisen järjestelmän hyväksi (Kuva 130). Materiaalipainotteisessa järjestelmässä (4M) sekajätteestä valmistettu RDF-kierrätyspolttoaine on poltettu pienellä osuudella (n. 2 %) olemassa olevissa kattiloissa, jolloin energian saanto on korkea. Energian tuotannon on oletettu välttävän turvetta, jota voidaan Pohjois-Suomessa pitää todennäköisenä korvattavana polttoaineena (Liite 3).

Energiapainotteisessa järjestelmässä (4E) sekajäte on poltettu höyryä hyödyntävän teollisuuslaitoksen yhteyteen perustetussa arinapolttolaitoksessa ja energian saanto on näin ollen lähes rinnakkaispolton tasolla. Vältetyksi polttoaineeksi voidaan tässäkin tapauksessa olettaa turve. Koska vältettyjen päästöjen kannalta kriittisimmät tekijät, energian saanto ja korvattava polttoaine, ovat molemmissa järjestelmissä lähes samanlaiset, myös nettohyödyt CO₂-ekvivalentteina ovat lähes samat.

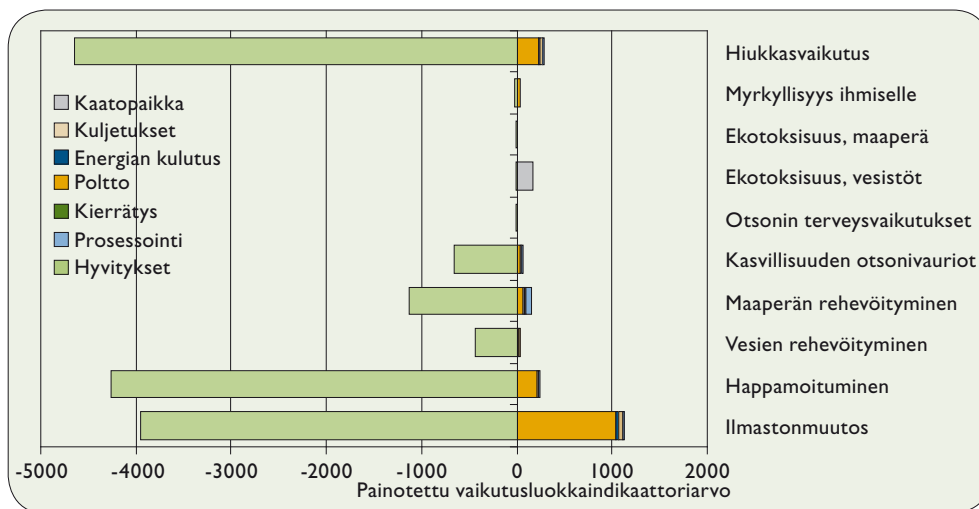
Ilmastonmuutoksen jälkeen seuraavaksi merkittävimmät potentiaaliset ympäristövaikutusluokat ovat hiukkasvaikutus ja happamoituminen (Kuva 131 ja Kuva 132). Vältetyt päästöt näissä vaikutusluokissa syntyvät turpeen polton välttämisestä, sillä turpeen poltossa syntyy enemmän NO_x- ja SO_x-päästöjä kuin jätteiden poltossa. Tämän vuoksi vältettyjä vaikutuksia erottuu myös rehevöitymistä kuvaavissa vaikutusluokissa, koska typen oksidit toimivat myös ravinnelähteenä.



Kuva 130. Energiapainotteisten (4 E) ja materiaalipainotteisen (4 M) järjestelmän CO₂-ekv-päästöt tyypiltään teollista maaseutua edustavalla Pohjois-Pohjanmaan alueella (alue 4) (t CO₂-ekv/vuosi).



Kuva 131. Materiaalipainotteisen järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset tyypiltään teollista maaseutua edustavalla Pohjois-Pohjanmaan alueella (4 M).



Kuva 132. Energiapainotteisen järjestelmän tärkeimmät potentiaaliset ympäristövaikutukset tyypiltään teollista maaseutua edustavalla Pohjois-Pohjanmaan alueella (4 E).

Jätelajikohtaiset tarkastelut osoittavat, että sekajätteelle valituilla käsittely- ja hyödyntämismenetelmillä on hallitseva merkitys koko Pohjois-Pohjanmaan alueen jätteiden CO₂-ekv-päästötaseen kannalta, sillä vältetyt ympäristövaikutukset liittyvät 75 – 95 %:sesti sekajätteen käsittely- ja hyödyntämiskäytäntöihin (Kuvat 133 ja 134). Vältettävien ilmastonmuutosvaikutusten kannalta voidaan todeta, että on tehokasta hyödyntää sekajätteen energiapotentiaali joko energiasaannoltaan hyvässä seospoltossa alueen turvekattiloissa tai teollisuuslaitoksen yhteyteen rakennetussa arinapolttolaitoksessa. Kaatopaikalle sijoitetun sekajätteen ja tuhkan sisältämät metallit voivat kaikissa vaihtoehdoissa aiheuttaa ekotoksisia vaikutuksia vesistöissä. Erilaisilla jätehuoltotoimenpiteillä vältettävissä olevat päästöt hallitsevat kaikissa muissa vaikutusluokissa.

Puulle valittujen jätehuoltoratkaisujen tuomat säästöt alueella ovat selvät, mutta teollisuuden muovi- ja kuitujätteiden osuus on kokonaisjättemäärästä niin vähäinen, etteivät ne erotu jätelajikohtaisessa tarkastelussa.

Materiaalipainotteiseen vaihtoehtoon (4M) valitussa kompostoinnin ja viherrakennuskäytön yhdistelmässä biojätteen ja lietteen vältetyt vaikutukset jäävät vähäisiksi.

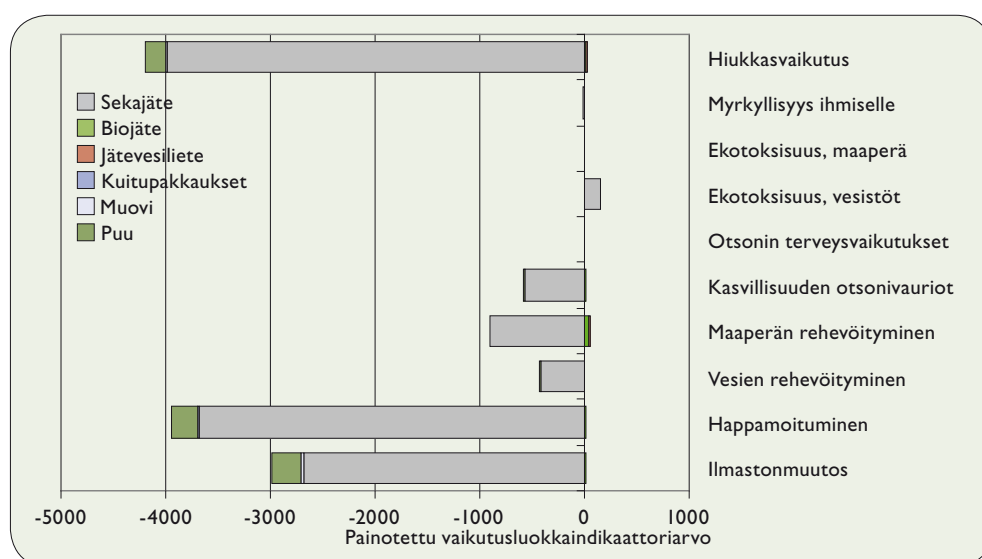
Sen sijaan energiapainotteisessa ratkaisussa (4E) biojätteen ja lietteiden rooli on ympäristövaikutusluokissa noin kuudesosa sekajätteeseen verrattuna, ja poltettuihin muovi-, kuitu- ja puujakeisiin verrattuna jo puolet tai samaa suuruusluokkaa. Potentiaaliset hyvitykset olisivat suurimmillaan, kun alle kuudesosan (13 %) sijaan kaikki jätteet mädätettäisiin pienen mittakaavan yksiköissä ja mädäte hyödynnettäisiin ilman jatkokäsittelyä, eli kompostointia tai tuotteistamista lannoiteraaka-aineksi.

Jätehuollon kannattavuustarkastelussa suurimmat erot Pohjois-Pohjanmaan materiaali- ja energiapainotteisen järjestelmän välillä syntyvät ympäristökustannuksissa, mutta kokonaiskustannukset järjestelmissä ovat tälläkin alueella lähes yhtä suuret (Kuva 135). Järjestelmien toteuttamisen kokonaiskustannukset, vaihtoehtokustannukset mukaan lukien, ovat 42 - 44 milj. euroa vuosittain, eli 190 - 210 e/käsitelty jätetonni.

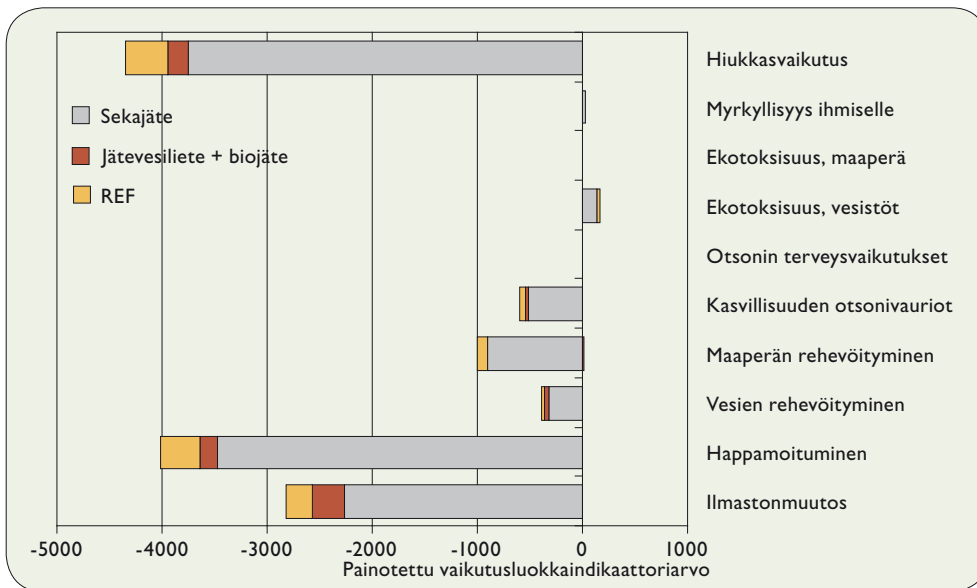
Jätehuoltojärjestelmien toteuttamisen kustannusvaikutukset syntyvät Pohjois-Pohjanmaan alueella noin 60 %:n osuudella sekajätteen käsittelystä (Kuva 136). Muiden alueiden tapaan sekajätteen jätehuollon ratkaiseminen on siis keskeisessä asemassa, mutta toisin kuin muilla tarkastelluilla alueilla, ero kahden mallinnetun vaihtoehdon välillä on olematon, vain noin 3 %. Tämä johtuu osittain siitä, että jätteen arinapoltto teollisuuden yhteydessä ja jätteen seospoltto olemassa olevissa kattiloissa ovat jätehuoltoketjuina lähes yhtä kalliita (luku 3.3.6), mutta myös siitä, että kumpikin polttovaihtoehto hyvittää turpeen polttoa, jolloin järjestelmien vaihtoehtokustannuksissa syntyy eroa vain järjestelmien energian saannon ja päästökauppakustannusten eron verran.

Biojätteen ja lietteen käsittelyn kustannukset ovat tarkasteltavalla alueella pienimmät silloin, kun biomassan sisältämä energia saadaan mädättämällä talteen. Ero biojätteelle mallinnetun kompostoinnin ja mädätysvaihtoehdon välillä on Pohjois-Pohjanmaan alueella suurempi kuin alueilla 1 ja 2, koska maatilakokoluokan mädätyksen edullisuus lisää mädätyksen kokonaiskannattavuutta.

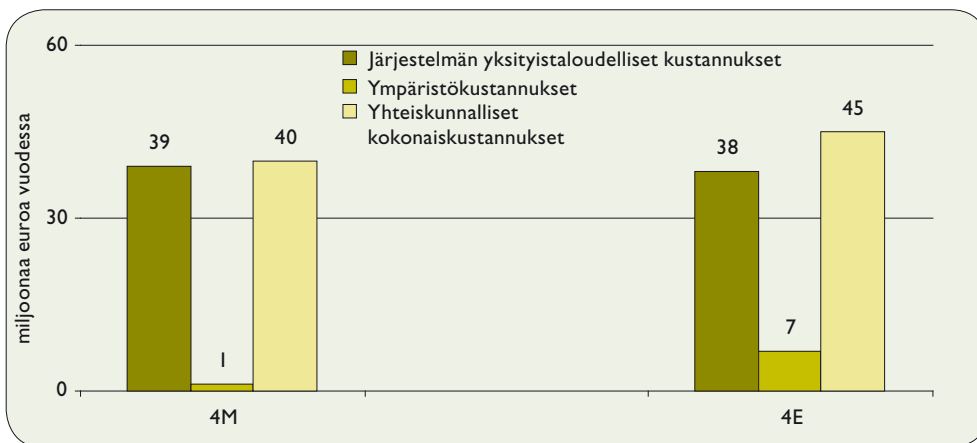
Kuitupakkausjätteen osuus alueen kokonaiskustannuksista on muiden alueiden tapaan vaatimaton ja ero kahden vaihtoehdon välillä merkityksetön. Puu- ja muovijätteet puolestaan kannattaa ohjata materiaalihyödynnettäväksi, joskin puun hyödyntämisen kannattavuus materiaalipainotteisessa skenaariossa perustuu pääosin lastulevyn valmistuksesta vapautuvan hakkeen energiahyödynnettävyyteen. Muovijätteen käsittelyn kokonaiskustannukset ovat Pohjois-Pohjanmaan alueella muita alueita vähäisemmät pääasiallisesti muovin pienemmän saannon vuoksi (Taulukko 19).



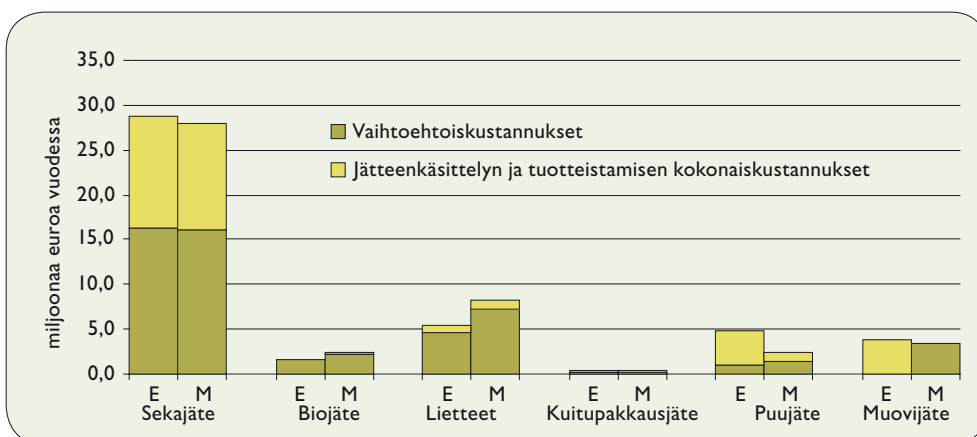
Kuva 133. Eri jätelajien merkitys Pohjois-Pohjanmaan alueen jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista materiaalipainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (4 M). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa, eli pylväät eivät jakaudu jätelajeittain hyvityksiksi ja kuormitukseksi.



Kuva 134. Eri jätelajien merkitys Pohjois-Pohjanmaan alueen jätehuollon potentiaalisista ympäristövaikutuksista energiapainotteisessa järjestelmävaihtoehdossa (4 E). Kuvaan on piirretty jokaisen jätelajin nettovaikutus kussakin vaikutusluokassa, eli pylväät eivät jakaudu jätelajeittain hyvityksiksi ja kuormitukseksi.



Kuva 135. Pohjois-Pohjanmaan alueen (alue 4) energiapainotteisten ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannukset jaettuna järjestelmän aiheuttamiin yksityistaloudellisiin kustannuksiin, ympäristökustannuksiin ja yhteiskunnallisiin kokonaiskustannuksiin.



Kuva 136. Pohjois-Pohjanmaan (alue 4) energiapainotteisen ja materiaalipainotteisen järjestelmän kokonaiskustannusten vertailu jätelajeittain tarkasteltuna ja jaettuna jätehuollon ja tuotteistamisen synnyttämiin kustannuksiin ja järjestelmän vaihtoehtokustannuksiin.

5 Tulevaisuuden polttotekniikoiden kehitysnäkymiä

5.1

Poliittisten ohjauskeinojen merkitys polttoteknologioiden kehittämisessä

Jätteiden polttoon voidaan käyttää arinapolton kaltaista perinteistä ja tunnettua tekniikkaa, mutta kokemuksia on jo kertynyt uudemmissa tekniikoista, kuten leijukerrospoltoista. Mikä on jätteenpolttotekniikoiden seuraava sukupolvi - modifioidaanko vanhoja ratkaisuja vai onko tulossa aivan uusia teknisiä sovelluksia?

Poliittiset päätökset ovat Suomessa ohjanneet vahvasti jätteenpolton kehitystä (Zevehoven ja Hupa 2008). Ohjauskeinoista tärkeimpiä ovat olemassa olevien ja suunniteltujen laitosten päästörajat, joihin on sisällytetty sekä parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) että ympäristö- ja terveysvaikutusten rajoittamisen vaatimukset. Päästörajoiden ohella merkittäviä kehityksen kulkuun vaikuttavia ohjauskeinoja ovat päätökset siitä, ohjataanko jäte poltettavaksi keskitetysti eli suuren mittakaavan laitoksissa vai hajautetusti pienen mittakaavan ratkaisuisa lähellä jätteiden syntyistä.

Tällä hetkellä lainsäädännön asettamat vaatimukset kyetään saavuttamaan olemassa olevan puhdistustekniikan avulla, joten tällä osa-alueella ei ole odotettavissa ainakaan merkittäviä uusia teknisiä ratkaisuja. Enemmän sen sijaan panostettaneen jatkossa hiilidioksidia talteenottavien ja varastoivien tekniikoiden (CCS, carbon capture and storage) kehittämiseen ja fossiilisten polttoaineiden vaihtamiseen jäteperäisiin polttoaineisiin. (Zevehoven ja Hupa 2008)

Lainsäädäntöä voidaan pitää myös jatkossa merkittävimpänä uusien, puhtaampien tekniikoiden ja päästöjen hallinnan kehitystä eteenpäin vievänä voimana. Jos jätteen poltto ohjataan hajautettuihin yksiköihin, pienen mittakaavan ratkaisut menestyvät, jos taas pyritään keskitettyyn malliin, suuren mittakaavan laitokset yleistyvät. Suuren mittakaavan laitoksissa jätteen laatu määrittää käytettävän tekniikan. (Zevehoven ja Hupa 2008)

Lainsäädännön rinnalla uusien teknologioiden kehittämistä tulee aina motivoimaan myös kannattavuuden lisääminen ja nykyisissä tekniikoissa havaittujen ongelmien ratkaiseminen. (Zevehoven ja Hupa 2008).

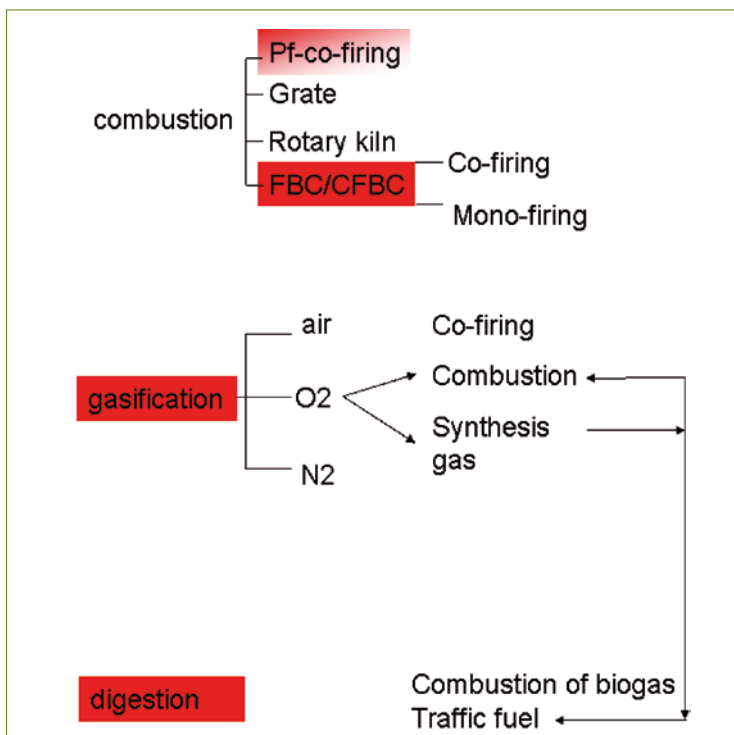
5.2

Nykyisin käytössä olevien polttotekniikoiden kehitysnäkymät

Kaksi käytetyintä ja teknisesti pitkälle kehitetyintä jätteidenpolttotekniikka ovat arinapoltto ja leijukerrospoltto. Jälkimmäisestä on selvästi vähemmän kokemuksia,

mutta sen käyttö yleistyy jatkuvasti. Joissakin laitoksissa on kokeiltu myös pyrolyysiä, kaasutusta ja muita sovelluksia, joissa kiinteä jäte prosessoidaan ennen lopullista polttoa kaasumaiseen tai nestemäiseen muotoon. Jätteistä voidaan tuottaa myös synteesikaasua (syngas, häkäkaasun (CO) ja vedyn (H₂) tasapainotettu ja puhdistettu tuotekaasuseos) käytettäväksi kemikaalina tai nestemäisenä polttoaineena. Kun lasketaan energiantuotantovaihtoehdoksi myös mädätys ja sen tuottaman kaasun polttaminen, jätteiden energiantuotantomuodot voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: polttoon, kaasutukseen ja mädätykseen (Kuva 137).

Kannattavuuden lisäämispaineet lisäävät halua nostaa kattiloiden polttolämpötiloja ja parantaa näin kattiloiden tehokkuutta ja polttotulosta (Zevenhoven ja Hupa 2008). Samaan aikaan korkeammat lämpötilat altistavat kattilan, tulistimen ja lämmönsiirtimet karstan muodostumiselle ja kloorin ja suolojen aiheuttamalle syöpymiselle. Kattiloiden teknisessä kehitystyössä keskityttäneenkin jatkossa toimenpiteisiin, joilla taataan käyttövarmuus, vaikka tehokkuutta samalla kasvatetaan (Zevenhoven ja Hupa 2008). Tulevaisuuden kehitysnäkymiä on seuraavissa luvuissa esitetty tekniikkakohtaisesti.



Kuva 137. Jätteiden polttomenetelmien jako tekniikoittain ja menetelmien lopputuotteet (Zevenhoven ja Hupa 2008).

5.2.1

Arinatekniikka

Vaikka arinatekniikka on jo vakiintunutta teknologiaa, on sitä viime aikoinakin kehitetty mm. jäähdytyksen ja ilman syötön parantamiseksi sekä höyryn lämpötilojen kasvattamiseksi.

Vesijäähdytyksen käyttäminen ilmajäähdytyksen sijaan laskee arinan lämpötilaa, jolloin termisten NO_x -päästöjen syntymisen todennäköisyys pienenee. Lisäksi se mahdollistaa ilman täsmäsuihkutuksen, jolla voidaan edelleen optimoida polttoprosessin olosuhteita ja vähentää NO_x -päästöjä. Vesijäähdytyksen suurimpana haittana on sen monimutkaisuus ja korkeammat ylläpito- ja investointikustannukset. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Tulipesän sekundääri-ilman syöttöä voidaan optimoida käyttämällä pyörivää suutinsylinteriä tai kiinteää prismaa, tai korvata sekundääri-ilma kokonaan höyryn injektoinnilla. Pyöriviä ilmasuutinsylintereitä pidetään kuitenkin ongelmallisina käytön kannalta. Prismien avulla on todettu voitavan lisätä tehokkaasti hiilivetyjen ja hääkäkaasun palamista ja pienentää karstan muodostumista lämmönsiirtopinnoille. Höyryn injektointi on kallis investoinniltaan ja käyttökuluiltaan, mutta sillä voidaan toisaalta parantaa palamiskaasujen sekoittumista ja palamistulosta. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Höyryn lämpötilojen kasvattamisen nykyisestä 440 °C :sta 480 °C :een on arvioitu kasvattavan sähköntuotannon tehokkuutta noin 8 % (Zevenhoven ja Hupa 2008).

5.2.2

Leijukerrostekniikka

Leijukerrostekniikkaa pyritään lähitulevaisuudessa kehittämään etenkin siihen suuntaan, että kierrätyspolttoaineita voitaisiin polttaa rinnakkaispolttoaineena yhä suurempina osuuksina. Yksi vaihtoehto on parantaa polttoaineen laatua, jolloin voidaan nostaa höyryn lämpötiloja ja kasvattaa kattilan tehokkuutta. Riittävän laadukasta kierrätyspolttoainetta voidaan käyttää jopa ainoana polttoaineena. Jätepolttoaineen laadun vaihtelu on kuitenkin ainainen riski korroosion ja karstoittumisen kannalta, ja huonoa laatua on kompensoitava laskemalla polttolämpötilaa. Uusilla kattilaratkaisuilla ongelmaa voidaan kiertää sijoittamalla tulistin kiertopetikattilan palautusvirtaan (Zevenhoven ja Hupa 2008).

5.3

Uudet polttotekniikat ja tekniikoiden potentiaali

5.3.1

Pyrolyysitekniikka

Pyrolyysiksi kutsuttua tekniikkaa käytetään jo nykyisin eri puolilla maailmaa, mutta kyse on edelleen kehittyvästä tekniikasta, josta puuttuvat pitkän aikavälin käyttökokemukset, etenkin suuressa mittakaavassa (Zevenhoven ja Hupa 2008).

Esimurskattu jäte voidaan pyrolyysitekniikan avulla muuttaa kahdeksi lopputuotteeksi: laadultaan huonoksi tai keskinkertaiseksi kaasuksi ja hiileksi, sekä pitkiä hiilivety-yhdisteitä sisältäviksi tervoiksi ja öljyiksi. Prosessi tapahtuu $400 - 800\text{ °C}$:n lämpötilassa ja hapettomissa olosuhteissa. Tuotetulla kaasulla voidaan lämmittää reaktoria, tuottaa höyryä, se voidaan jalostaa nestemäiseksi polttoaineeksi tai polttaa sellaisenaan, joskin jätteiden pyrolyysistä syntyvä tuotekaasu on puhdistettava ennen käyttöä. Pyrolyysin jäännöshiilessä on vielä jäljellä runsaasti palamatonta hiiltä, joten

sekin soveltuu edelleen polttoaineeksi. Pyrolyysin raaka-aineeksi soveltuvat etenkin korkean energiasisällön jätteet kuten muovi ja renkaat.

Pyrolyysitekniikan etuna tavanomaiseen polttoon verrattuna on raskasmetallien tehokkaampi erottuminen savukaasujen sijaan pikeen ja alhaisemmat NO_x-päästöt, koska lämpötilat ovat tavanomaista alhaisemmat ja olosuhteet pelkistävät. Lisätuna on, että lähinnä PVC-muovista peräisin oleva HCl voidaan erottaa savukaasuista, joskin kyseisenlaisesta prosessista on olemassa vasta laboratoriomittakaavan koe-laitos (Zevenhoven ja Hupa 2008). Klooriton savukaasu ei ole syövyttävää ja lisäksi dioksiinien muodostuminen estyy.

Pyrolyysitekniikan yksi heikkous on toksisten ja karsinogeenisten yhdisteiden esiintyminen pyrolyysiöljyssä ja tervayhdisteissä. Pyrolyysi yksinään ei ole järkevä ratkaisu yhdyskuntajätteiden käsittelyyn. Yhdyskuntajätteessä on haihtuvia orgaanisia yhdisteitä arviolta vain 20 - 30 % ja pyrolyysin jälkeen on jäännöshiilessä vielä jäljellä runsaasti hyödyntämiskelpoista energiaa palamattomassa hiilessä. Pyrolyysin tuottaman kaasun hyödyntäminen edellyttää lisäksi kaasun puhdistusta ja erillisen hyödyntämisprosessin. Käsittelyketjusta muodostuu näin ollen monimutkainen. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

5.3.2

Kaasutus

Kaasutustekniikka on erityisesti suomalainen erikoisuus, jonka tunnetuin sovellus on Varkaudessa Corenson hylsykartonkitehtailla. Kaasutusta edeltävien prosessien avulla voidaan erottaa toisistaan nestepakkausten (esim. mehutölkkiä) kuidut, muovi ja alumiini. Kuidut ja alumiini voidaan kierrättää, muovista puolestaan tuotetaan energiaa kaasuttamalla.

Kaasutus muistuttaa tekniikaltaan monilta osin pyrolyysiä sillä merkittävällä erolla, että prosessissa on mukana myös happea ja reaktiot tapahtuvat pyrolyysiä korkeammassa lämpötilassa. Poltettavan jätteen hiili kaasuntuu ja lopputuotteena on polttokelpoista synteetikaasua (syngas) ja tervayhdisteitä. Puhtaan hapen lisäksi prosessin viimeiseen vaiheeseen nostaa lämpötilan tasolle, jossa kiinteä lopputuote muuttuu inertiksi, lasimaiseksi kuonaksi. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Kaasutuksessa tuotetun kaasun polton haasteena ovat savukaasut, joiden puhdistus vaatii oman tekniikkansa. Terva ja muut nestemäiset hiilivety-yhdisteet voidaan poistaa krakkauksella kaasuttimessa tai piipunpäätekniikoiden avulla, kuten keramisilla suodattimilla. Lisäksi tuhkan ominaisuuksia pelkistävissä olosuhteissa ei vielä tunnetta kunnolla, mikä voi johtaa yllättäviin tilanteisiin.

5.3.3

Plasmakonversiotekniikka

Plasmakonversio on vielä kokeiluasteella oleva tekniikka, josta toistaiseksi ei vielä ole kokemuksia laitossmittakaavassa. Plasmakonversiota voidaan luonnehtia äärimmäiseksi versioksi kaasutuksesta ja pyrolyysistä, sillä lämpötila saattaa prosessin aikana kohota jopa 12 000 °C:een. Jätteitä polttavaan plasmajärjestelmään kuuluvat plasmavalokaariliekitin (plasma arc torch), virtalähde, vesi- ja kaasujärjestelmät, lämpötilan säätöjärjestelmä sekä mm. pesuri. (Zevenhoven ja Hupa 2008).

Plasmavalokaariliekittimeen syötetään hyvin pieni määrä kaasua, (esim. argonia, vetyä, heliumia, happea, ilmaa), joka sähköän avulla muutetaan plasmaliekiksi. Lämpöä syntyy kaasun dissosioituessa ja ionisoituessa. Tuotteena syntyvästä synteetikaasusta voidaan edelleen tuottaa sähköä tavanomaisilla tekniikoilla.

Menetelmä sopii erityisesti kemialliselle ja myrkylliselle jätteelle, joskin sen heikkoutena on suuri energiakulutus. Valmistajien mukaan menetelmällä voidaan päästä

55 - 60 %:n tehokkuuteen kombilaitoksessa, jossa plasmaproessi on yhdistetty johonkin toiseen energiaproessiin. Pelkkää lämpöä tuottaessa hyötysuhde voi nousta jopa 90 %:iin. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

5.3.4

Biokaasun poltto polttokennotekniikalla

Mikäli hajautettu jätteiden käsittely yleistyy, yksi kehityssuunta voi olla polttokennopohjainen sähköä ja lämpöä tuottava CHP-laitos, joskaan tekniikasta ei vielä juurikaan ole käyttökokemuksia (Zevenhoven ja Hupa 2008).

Polttokennossa biokaasu tai metaani voidaan muuttaa sähköksi ja lämmöksi pienissäkin tuotantoyksiköissä. Polttokennoihin soveltuvat monenlaiset polttoaineet, kuten teollisuuden jätkekaasut, hiilikaasu, kaivoskaasu, kaatopaikkakaasu ja maakaasukin.

5.4

Yhteenveto polttotekniikoiden tulevaisuuden näkymistä

Jätteenpolton kehittyminen riippuu paljon poliittisista ohjauskeinoista. Uutta teknologiaa ei tällä hetkellä tarvita nykyisen lainsäädännön vaatimusten täyttämiseen, joskin uusia menetelmiä saatetaan tarvita, kun CO₂-päästöjä rajoittava lainsäädäntö tulee voimaan tulevaisuudessa. Mahdollista on sekä vanhojen tekniikoiden kehittäminen että täysin uusien tekniikoiden keksiminen (Taulukko 27).

Pienen mittakaavan ratkaisut menestyvät, jos jätteen polttoa ohjataan hajautettuihin yksiköihin, ja yksi tulevaisuudessa käyttöön otettavista tekniikoista saattaa olla polttokenno-CHP-tekniikka. Tosin polttokennotekniikasta ei vielä ole juurikaan käyttökokemuksia. Suuren laitosmittakaavan ratkaisut menestyvät, jos jätteen polttoa päätetään keskittää. Suuren mittakaavan laitoksissa jätteen laatu määrittää käytettävän tekniikan. Lainsäädännön rinnalla uusien teknologioiden kehittämistä motivoi kannattavuuden lisääminen ja nykyisissä tekniikoissa havaittujen ongelmien ratkaiseminen. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Arinapoltto säilyttäneen asemansa sekajätteen polttomuotona, ja höyryn lämpötilojen nostettaneen jatkossa kattiloiden tehokkuuden lisäämiseksi. Leijukerrostekniikkaa puolestaan sovelletaneen jatkossakin parempilaatuisten jättepolttoaineiden polttamiseen. Lajittelemattoman jätteen leijupetipoltossa on edelleen haasteita, etenkin jätteen syötössä ja tuhkien hallinnassa. Leijupetipoltossakin tavoitellaan nykyistä korkeampia höyryn arvoja uudenlaisten lämmönvaihdinjärjestelyjen avulla. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Hyvälaatuisen jätteen seospoltto olemassa olevissa voimakattiloissa yleistyneen tulevaisuudessa. Lisäksi synteetikaasua tuottavan kaasutuksen merkitys kasvaa. Huonolaatuisestakin kierrätyspolttoaineesta (RDF) valmistetun synteetikaasun poltto ja rinnakkaispoltto kaasuturbiineissa on jo todettu toimivaksi tekniikaksi. Nestemäisten polttoaineiden tuottaminen synteetikaasusta on vielä kehitysvaiheessa, mutta saattaa tarjota varteenotettavan vaihtoehdon uudeksi liikennepolttoaineeksi. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Pyrolyysitekniikan sovellukset ovat edelleen kehitysvaiheessa. Esimerkiksi PVC-muovin polttotekniikat HCl-keräysvaiheeseen ovat vasta demonstraatioasteella ja plasmakonversio on toistaiseksi todettu taloudellisesti kannattamattomaksi suuressa mittakaavassa. Markkinavoimat ratkaissevat, mikä uusista tekniikoista kehittyy edelleen. (Zevenhoven ja Hupa 2008)

Taulukko 29. Yhteenveto käytettävissä olevista polttotekniikoista (Zevenhoven ja Hupa 2008).

Tekniikka	Poltto- aineen laatuvaatimus	Lämpötila, °C	Hyöry	Edut	Haasteet
Arina	Matala	1100	380-400 C°, 40 bar (vanhat) 480 C°, 125 bar (uudet)	Jätteen määrän vähene- minen Tuhkan hyötykäyttö tierä- kentämisessä	Savukaasujen puhdistuslait- teistojen vaativuus Imago-ongelmat, "NIMBY"
Rumpu-uuni	Matala	1300	300-400	Polttoaineen hyvä sekoit- tuminen	Alttius lämpöshokeille Rumpu-uuni tehtävä tulen- kestävästä materiaalista Vaatii tehokasta huoltoa Suuri hiukkasten tuotanto Matala lämpöteho mutta korkeat kustannukset
Leijukerrostekniikka, kuplapeti (BFBC)	Korkea	850-1000	535 C° rinnakkaispoltossa kuoren, turpeen ja kuituliet- teen kanssa	Pitkät viipymäajat Polttoaineen hyvä sekoit- tuminen Käytettävien polttoaineiden kirjo (Rinnakkaispoltto n. 10% asti)	Tuhkan hyötykäyttö Korroosio Tukkeumat (deposits)
Leijukerrostekniikka, kiertopeti (CFBC)	Korkea	850	522 C° rinnakkaispoltossa puuperäisten polttoainei- den, turpeen ja hiilen kanssa 443 C° ainoana polttoai- neena Pedin lämmönvaihto mah- dollistaa korkeat höyryn lämpötilat	Termisten NOx-päästöjen määrä vähäinen	Agglomeroituminen
Voimakattila	Korkea	1500	Kuten hiilen poltossa: 530°C 169 bar (SRF-osuus max. 4%)	Demonstroitu 4 %:n osuu- teen lämpökuormasta	Demonstraatiovaiheessa
Pyrolyysi	Korkea	400-800	Kaasu poltetaan esim. kaasuturbiinissa, lämmön talteenotto	Synteetikaasun tuotanto	Kaasun puhdistaminen vaatii lisätutkimus- ja kehitystyötä
Kaasutus	Korkea	1000	Kun kaasu poltetaan hiilipö- lylaitoksessa	Metallit eivät oksidoidu Alumiini otettavissa talteen PVC:n käsittely mahdollista	Korroosio ja tuhkakemia Tarvitaan markkinat pyro- lyysiöllylle
Plasmatekniikka	Matala	-12000	Plasmakaasu voidaan polttaa/rinnakkaispolttaa kaasuturbiinissa	Metallien talteenotto	Energiantarve
Polttokenno-CHP	Mädätys- kaasut, synteesi- kaasu	600-1000		Pieni mittakaava Hyvä hyötysuhde Joustavuus polttoaineen suhteen	Kustannukset ja kennojen valmistuksen kuormittavuus Korroosio ja kennon osien rikkoutuminen Käynnistäminen hidasta Demonstraatiovaiheessa

6 Tulosten tarkastelu

POLKU-hankkeen tarkoituksena oli toteuttaa polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen järjestelmälähtöinen kokonaistarkastelu ympäristö- ja kustannusvaikutuksista. Päätaivoitteena oli tuottaa tietoa polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen vaihtoehtoista ja niiden ympäristö- ja kustannusvaikutuksia määrittävistä tekijöistä.

Jätteen käsittelyn ja hyödyntämisen vaihtoehtoja tarkasteltiin käyttäen esimerkkinä erilaisia aluetyyppejä, jotka edustavat mahdollisimman hyvin jätehuollon järjestämisen tyypillisiä alueellisia piirteitä ja haasteita Suomessa. Alueellisen tarkastelun eduksi nähtiin se, että järjestelmäkuvauksen perustaksi saadaan todelliset tuotanto-, energia- ja jätehuoltoinfrastruktuurit. Tällä tavoin erilaisille jätehuollon ja hyödyntämisen toiminnoille saadaan konkreettiset sijaintipaikat, jotka tarvitaan muun muassa kuljetusten tarkastelua varten. Samoin esimerkiksi jäteperustaisen energiatuotannon merkityksen tarkastelulle neitseellisten polttoaineiden korvaajana saadaan vertailukohteet mahdollisimman realistisesti olemassa olevista energiantuotantolaitoksista.

Kuudelle tarkastellulle yhdyskuntajäteluokkaan kuuluvalla polttokelpoisella jätelajille (biohajoavat jätteet ja muovit) ja yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla muodostuville lietteille mallinnettiin kullekin vaihtoehtoisia käsittely- ja hyödyntämisympäristöjä tarkasteluun valittuihin alueisiin perustuen. Mallinnettujen järjestelmien elinkaaren aikaiset ympäristö- ja kustannusvaikutukset raportoitiin tässä julkaisussa ensin jätelajikohtaisesti (luku 3) ja sitten aluekohtaisesti järjestelmäkuvauksen mukaisesti (luku 4).

Aluekohtaisia tarkasteluja (luku 4) ei voi suoraan verrata toisiinsa, koska alueiden jätevirrat ovat erisuuruisia. Tarkasteltujen jätelajikohtaisten vaihtoehtojen tuloksia (luku 3) vertailtaessa on huomioitava alueelliset sidonnaisuudet ja niiden vaikutukset saavutettuihin tuloksiin: asumistiheys ja toimialarakenne vaikuttavat eri jätelajien määriin ja sitä kautta edelleen mitoitettujen laitosten käsittelykapasiteettiin ja lajittelu-, kuljetus- ja prosessointikustannuksiin. Myös neitseellisten polttoaineiden korvaavuudet vaihtelevat, ja käytännön mahdollisuudet eri polttoaineiden korvaamiseen on aina arvioitava tapauskohtaisesti. Ympäristö- ja etenkin kustannustarkastelun tulokset ovatkin siten yleistettävissä muille alueille vain varauksellisesti, eli siinä tapauksessa, että kaikki jätelajikohtaisesti tehdyt oletukset täyttyvät. Sekäjätteen ja kuitu-, puu- ja muovijätteen osalta alueellisten tekijöiden vaikutus tulosten vertailtavuuteen on pienempi, biojätteen ja yhdyskuntajätevesilietteen käsittelyyn taas alueelliset tekijät ja etenkin tarkasteltavien laitostyyppien ominaisuudet vaikuttavat voimakkaammin, mm. koska kuljetusten osuus sekä ympäristö- että kustannusvaikutuksista on suurempi.

Sekajätteen hyödyntämisketjut

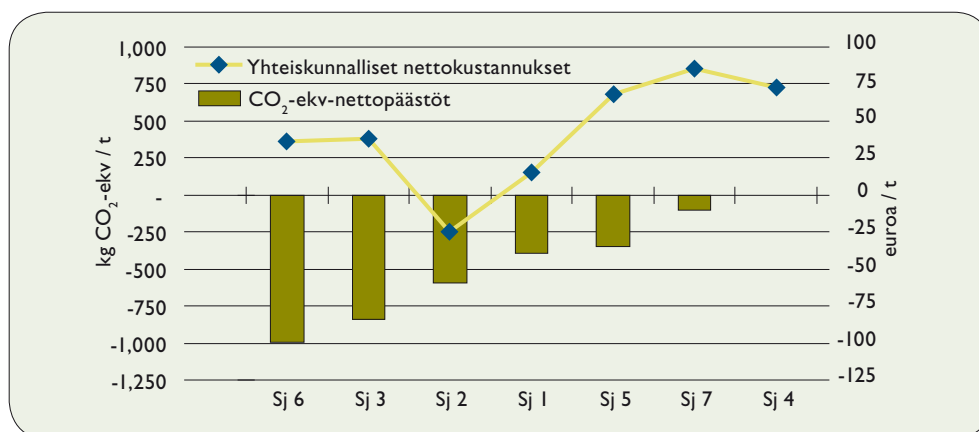
Yksi sekajätteen käsittelyn merkittävimmistä potentiaalisista ympäristövaikutuksista kaikissa POLKU-hankkeessa tarkastelluissa hyödyntämisvaihtoehdoissa on kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmaston lämpeneminen. Sekajätteen polttaminen tuottaa CO₂-ekv-päästöjä noin 350 kg/sekajätetonnei, ja muilla sekajätteiden käsittely- tai hyödyntämisvaiheilla ei tuotettujen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta ole ratkaisevaa merkitystä. Vertailun vuoksi todettakoon, että kun keskivertokuluttaja tuottaa vuodessa sekajätettä noin 295 kg/hlö, sen polttamisesta vapautuvat päästöt vastaisivat noin 650 kilometrin ajoa henkilöautolla, jos auton päästöiksi oletetaan keskimääräinen 160 g CO₂/km. Lähes kaikissa tarkastelluissa hyödyntämisketjuissa ilmastonmuutosvaikutus jäi kuitenkin vältettyjen päästöjen ansiosta hyvitysten puolelle, eli järjestelmällä säästettiin kasvihuonekaasupäästöjä enemmän kuin tuotettiin (Kuva 138).

Jätteiden hyödyntämisketjujen ilmastonmuutosvaikutusten kannalta ratkaisevat oletukset liittyvät vältettyihin polttoaineisiin sekä siihen, miten suurelle osuudelle jätteen polton tuottamasta energiasta todellisuudessa on tarvetta. Viimeksi mainittu ominaisuus on tässä tutkimuksessa nimetty energian saannoksi. Teknologialtaan samanlaisen laitoksen tuottaman energian todellinen saanto voi siis vaihdella paljonkin alueesta riippuen. Polttoaineista suurimmat hyödyt saa välttämällä kivihiihilauhdesähköä, turvetta ja öljyä (Taulukko 1).

Paras nettotulos kasvihuonekaasupäästöjen kannalta saatiin tässä tutkimuksessa vaihtoehdossa, jossa sekajäte työstetään rinnakkaispolttoaineeksi ja seospoltetaan olemassa olevissa kattiloissa pieninä osuuksina (2 %), hyvällä energian saannolla ja turvetta korvaten (Sj 6).

Käytännössä yhtä hyvään lopputulokseen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta päästiin arinapolttolaitoksessa, jolla on hyvä energian hyötysuhde ja suuri rakennusaste eli sähkön osuus tuotetusta energiasta esim. yli 30 %, jonka tuottamalle lämmölle löytyy käyttöä teollisuudesta tai kaukolämpöverkosta ja jolla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan turvetta (Sj 3).

Jos kaatopaikka on hyvin hoidettu siten, että kaatopaikkakaasun talteenottoaste ylittää 70 % ja keräämättömän kaasun oletetaan hajoavan tehokkaasti (n. 90 %) kaatopaikan pintakerroksessa, kaatopaikkasijoitus (Sj 7) saattaa olla jopa aavistuksen parempi ratkaisu kuin huonolla energian saannolla toteutettu arinapoltto (Sj 4). Taajamaratkaisun asemaa heikentää lisäksi se, ettei mallinnukseen valituilla ratkaisuilla löytynyt fossiilista polttoainetta käyttäviä laitoksia, joiden energiantuotantoa voitaisiin korvata.



Kuva 138. Sekajätteen hyödyntämisvaihtoehtojen CO₂-ekv-päästöt ja yhteiskunnalliset kustannukset.

Ilmastonmuutosvaikutuksen lisäksi sekajätteen käsittelyn potentiaalisia ympäristövaikutuksia olivat hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöihin kohdistuva ekotoksisuus. Hiukkasvaikutuksen aiheuttajia ovat typen ja rikin oksidit ja se voi aiheuttaa terveyshaittoja ja laskea eliniänodotetta. Ympäristön happamoituminenkin liittyy typen ja rikin oksidien laskeumaan ja voi puolestaan aiheuttaa metallien liukenemistä maaperästä, heikentää kasvien kasvua ja muuttaa alkuperäistä kasvillisuutta happamuutta paremmin sietäviin lajeihin. Vesistöissä ekotoksisuutta voivat aiheuttaa kaatopaikalle sijoitetun tuhkan kupari- ja sinkkipäästöt. Näissäkin vaikutusluokissa nettovaikutus jäi kuitenkin ilmastonmuutosvaikutuksen tavoin negatiiviseksi eli vältetyt päästöt olivat suuremmat kuin vaihtoehtojen tuottamat päästöt, jos korvattavissa polttoaineissa oli mukana merkittävä osuus fossiilisia polttoaineita, kuten öljyä, kivihiiltä tai turvetta (Sj 2, 3, 4, 5).

Ympäristövaikutuksista tarkasteltiin myös jätteenpolton tuottamien dioksiinipäästöjen merkitystä. Todettiin, että jätteen polton tuottamat dioksiinipäästöt ovat niin vähäisiä, etteivät ne erottuneet normalisoiduissa eivätkä painotetuissa vaikutusarviointituloksissa. Dioksiineja syntyy hallitsemattomassa palamisessa, joten jätteenpoltossa saattaa syntyä ajoittaisia päästöpiikkejä, mutta valtakunnan tasolla niiden merkittävimmät päästölähteet ovat kaatopaikkapalot, metalliteollisuus ja puun pienpoltto.

Yhteiskunnalle aiheutuvien kustannusvaikutusten kannalta vain yhden tässä tutkimuksessa tarkastellun hyödyntämisketjun tapauksessa siirtyminen jätteenpolttoon aiheuttaisi säästöjä enemmän kuin kustannuksia (Sj 2, Kuva 138). Tässä vaihtoehdossa sekajäte poltetaan hyvällä hyötysuhteella teollisuuslaitoksen yhteyteen liitettyssä arinalaitoksessa, ja polttoaineista korvataan öljyä, puuta, kivihiiltä ja maakaasua. Kustannusten määräytymisen kannalta merkitseviä tekijöitä ovat arinapolttolaitoksen hyvä energian saanto eli hyötykäyttöön päätyvän energian osuus ja vältetyn energian tuotantokustannukset, jotka öljyä, puuta, maakaasua ja kivihiiltä korvattaessa ovat vertailtavaa arinalaitosta ja muuta hyödyntämisketjua suuremmat. Vältettyjen kustannusten suuruuteen vaikuttaa pääosin öljyn polttoon perustuvan marginaalisen lämmöntuotannon korkea hinta.

Kalleinta on sijoittaa jäte kaatopaikalle (Sj 7), koska järjestelmä ei saa tästä juuri mitään hyötyjä. Tämä perustuu siihen, että kaatopaikan energiantuotto kyky samasta jätemäärästä on huomattavasti alhaisempi kuin polttolaitoksilla ja turve, jota biokaasun oletetaan korvaavan, on suhteellisen edullinen polttoaine. Kustannusten näkökulmasta huonoja vaihtoehtoja olivat myös polttaa RDF-polttoaineeksi prosessoitu sekajäte jätteenpolttoon suunnitellussa kiertoleijulaitoksessa (Sj 5) tai ilman esikäsittelyä taajaman läheisyydessä sijaitsevassa arinalaitoksessa (Sj 4). Edellisen kannattamattomuus muihin vaihtoehtoihin verrattuna perustuu pääosin jätehuoltoketjun muita vaihtoehtoja keskimäärin noin 30 % korkeampiin yksityistaloudellisiin kustannuksiin. Ratkaisu on kalliimpi sekä sekajätteen vaatiman esikäsittelyn että polton arvioitujen yksikkökustannusten takia. Taajamaratkaisun nettokustannukset jäivät puolestaan korkeiksi, koska laitoksen energian saanto on oletettu lämpökuorman osittaisen lauhduttamistarpeen vuoksi alhaisemmaksi kuin muilla arinapolttoratkaisuilla.

Ilmastonmuutosvaikutuksen suhteen parhaat vaihtoehdot (Sj 6 ja Sj 3) olivat kustannuksiltaan tasaväkisessä asemassa: parempi ilmasto-kustannus-hyötysuhde saadaan sekajätteestä valmistetun RDF-kierrätyspolttoaineen polttamisella pieninä osuuksina (2 %) olemassa olevissa kattiloissa turpeen sijaan (Sj 6). Lähes samantaiset kustannukset syntyisivät kuitenkin teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa arinapolttolaitoksessa (Sj 3), jonka lämpö voidaan hyödyntää tehokkaasti teollisuusprosessissa ja jonka tuottama energia korvaisi turpeen käyttöä. Näitä ratkaisuja kannattavampaa olisi kuitenkin polttaa jäte arinalaitoksessa, jonka tuottamalla energialla korvattaisiin kivihiililauhdesähköä ja puulla ja maakaasulla erillisessä voimalaitoksessa tuotettavaa lämpöä (Sj 1). Ilmastonmuutosvaikutuksiltaan tämä ratkaisu ei kuitenkaan ole yhtä hyvä.

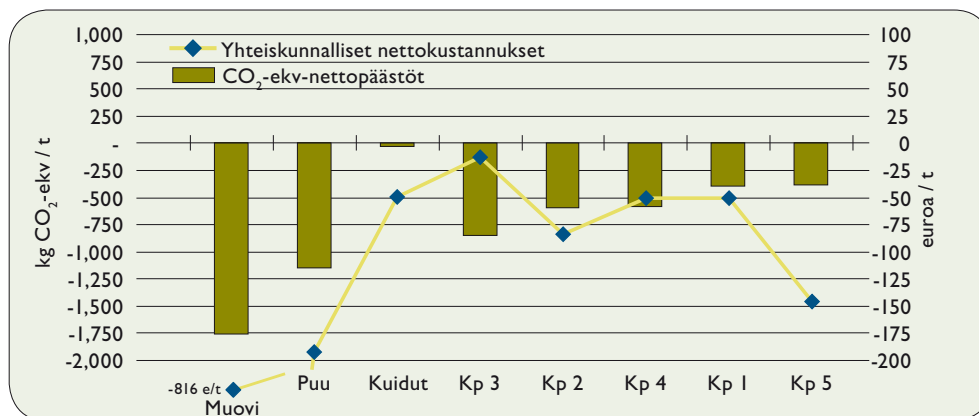
Kuitupakkausten, puun ja muovien hyödyntämisketjut

Toisin kuin sekajätteelle, kuitupakkauksille, puulle ja muoville on löydettävissä toteuttamiskelpoiset hyötykäyttövaihtoehdot sekä materiaalina että energiana. Tutkimuksessa oli lähtökohtana, että kaikki materiaalit saataisiin hyödyntämisprosesseihin hyvälaatuisina ja puhtaina jakeina teollisuudesta. Tulokset eivät siis ole sellaisenaan yleistettävissä laadultaan huonoille tai epäpuhtaille jakeille. Polttovaihtoehdoissa kaikki kolme materiaalia on käsitelty yhtenä jätevirtana. Ne voidaan polttaa joko esikäsittelmättömänä arinalaitoksessa tai kierrätyspolttoaineeksi tuotteistettuna esim. leijupetitekniikkaan perustuvissa laitoksissa.

Tutkimuksessa tarkasteltujen polttovaihtoehtojen ympäristövaikutusprofiili noudattaa sekajätteiden käsittelylle saatuja tuloksia, eli merkittävin potentiaalinen ympäristövaikutus oli hiilidioksidipäästöjen aiheuttama ilmastonmuutos. Päästöjä syntyy polttoprosessissa 350 - 630 kg/tonni alkuperäistä, käsittelemätöntä jätettä, riippuen jätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen energiasisällöstä ja energian saannosta. Kaikissa polttoon perustuvissa hyödyntämisketjuissa ilmastonmuutosvaikutus oli kuitenkin vältettyjen päästöjen ansiosta hyvitysten puolella, eli järjestelmät säästivät päästöjä enemmän kuin tuottivat (Kuva 139).

Suurimmat jätetonnikohtaiset säästöt hiilidioksidiekvivalentteina saatiin muovin kierrätyksellä, koska ensiömuovin valmistus öljystä ja maakaasusta vaatii paljon energiaa. Polttoratkaisuja suuremmat hyvitykset saatiin myös puujätteen järjestelmässä, jossa puu toimitetaan lastulevyn valmistukseen vapauttaen toisaalla puuta poltettavaksi turpeen sijaan.

Kuitupakkausten kierrätystä kuvaavaa järjestelmää valittaessa hylättiin vaihtoehto, jossa hyödyt laskettaisiin neitseellisten kuitujen käytön välttämiseksi, koska ei olisi todennäköistä että hylsykartonkia ryhdyttäisiin nykyisin valmistamaan neitseellisestä kuidusta. Jos kuituraaka-ainetta saataisiin kotimaassa kierrätettyä nykyistä enemmän, todennäköisin järjestelmissä tapahtuva muutos olisi hylsykartongin valmistamiseen tarvittavan kuitujätteen tuonnin väheneminen Saksasta, joten vältetyt päästöt laskettiin laivarahdin vähenemisestä. Laivarahti toteutetaan Itämerellä kuitenkin niin suurina erinä, että vältetyllä toiminnalla ei juuri saavuteta hyötyjä kasvihuonekaasupäästöjen kannalta.



Kuva 139. Muovi-, puu- ja kuitujätteen hyödyntämisvaihtoehtojen CO₂-ekv-päästöt ja yhteiskunnalliset kustannukset.

Kierrätyspolttoaineen vaihtoehtoista kasvihuonekaasupäästöjä säästettiin eniten, kun jätteet poltettiin teollisuuslaitoksen yhteyteen perustetussa arinalaitoksessa ja tuotetulla energialla korvataan turpeen käyttöä (Kp 3). Muovi-, kuitu- ja puujätteelle ei mallinnettu rinnakkais- tai seospolttovaihtoehtoa olemassa olevissa kattiloissa, mutta se olisi vähentänyt sekajätteen vastaavan ratkaisun tavoin eniten päästöjä, koska korvattava polttoaine olisi ollut sama mutta prosessin energian saanto parempi. Tasaväkisiksi vaihtoehtoiksi kasvihuonekaasupäästötaseen kannalta osoittautuivat kuitu-, puu- ja muovijakeen polttaminen arinalaitoksessa öljyä, puuta, maakaasua ja kivihiiltä korvaten (Kp 2) tai valmistaminen (RDF-laatuiseksi) kierrätyspolttoaineeksi ja polttaminen RDF-laatuisten jätteen polttamiseen tarkoitettussa laitoksessa öljyn, puun ja kivihiilen sijaan (Kp 4). Korkean muovipitoisuuden takia kierrätyspolttoaineen N₂O-päästöt on oletettiin arinapolttoa suuremmiksi, mikä tasoitti eroa arinapolttolaitoksen hyväksi.

CO₂-ekv-päästöjen nettotulosten kannalta merkittävimmät oletukset liittyvät polttoa sisältävissä vaihtoehtoissa samoihin muuttujiin kuin sekajätteen polttoketjuilla: vältettyihin polttoaineisiin sekä oletukseen tuotetun energian tarpeesta, mutta lisäksi myös se, miten suuri osuus laitoksen tuottamasta energiasta tuotetaan sähköinä. Suunnitelluissa REF-leijupetilaitoksissa sähkön tuotannon osuus on jopa pienempi kuin suunnitelluissa arinalaitoksissa, jolloin pienempi kivihiililauhdesähkön korvaamisesta saadaan pienempi hyvitys ja tämä nousee ratkaisevaksi lopputuloksen kannalta. On tosin huomattava, että arinapolttovaihtoehtoissa (Kp 1, 2 ja 3) päästökertoimet aliarvioivat jonkin verran kierrätyspolttoaineen polton päästöjä rinnakkaispolttovaihtoehtoihin verrattuna, koska päästökertoimet ovat samat kuin sekajätteelle.

Muovin kierrätyksessä keskeisimmät oletukset ovat se, miten suuri osuus muovista todella laadultaan soveltuu tarkoitukseen, onko korvaavuus 1:1 ja millä polttoaineilla muovin valmistuksen suuri energiantarve on täytetty.

Muut kierrätyspolttoaineen ja puun polton, mutta myös muovin kierrätyksen keskeiset potentiaaliset ympäristövaikutukset olivat hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöihin kohdistuva ekotoksisuus, jotka liittyvät typen ja rikin oksidien päästöihin ja vältettyihin päästöihin. Koska ensiömuovin valmistus tuottaa metaanipäästöjä, muovin kierrätyksellä voidaan välttää myös kasvillisuudelle alailmakehän otsonista aiheutuvia vaikutuksia. Lisäksi kaatopaikalle sijoitetun tuhkan kupari- ja sinkkipäästöt voivat aiheuttaa vesistöissä ekotoksisuutta. Kaikissa vaikutusluokissa nettovaikutus jäi kuitenkin negatiiviseksi eli vältetyt päästöt olivat suuremmat kuin vaihtoehtojen tuottamat päästöt, lähinnä sen vuoksi, että korvattavat polttoaineet ovat etupäässä fossiilisia polttoaineita - öljyä, kivihiiltä tai turvetta.

Kuitu-, puu- ja muovijätteen hyödyntämistä vaihtoehtojen kustannustarkastelu osoitti, että kaikki tarkastellut vaihtoehdot synnyttivät yhteiskunnalle enemmän säästöjä kuin kustannuksia (Kuva 139). Suurimmat nettohyödyt syntyvät silloin, kun muovi- ja puujätteet ohjataan hyödynnettäväksi materiaalina. Muovia kierrätettäessä ja hyödynnettäessä vältetyt kustannukset olivat ylivoimaisesti suurimmat – lähes -820 e/ muovitonni. Suuri kustannussäästö syntyy, koska uusiomuovilla korvattavan ensiömuovin valmistaminen öljystä on kallista. Seuraavaksi kannattavinta oli hyödyntää jätepuu lastulevyn raaka-aineeksi ja polttaa levyn valmistuksessa vapautuva hake turpeen sijaan (n. -190 e/ puutonni). Jätepuulle mallinnettu hyödyntämisketju synnyttää yksityistaloudellisia kustannussäästöjä kahdessa vaiheessa: raaka-ainesäästön lastulevyn valmistuksessa sekä polttoaine- ja päästökauppasäästön korvattaessa turvetta energiantuotannossa. Jälkimmäisellä hyvitysoletuksella on merkittävä vaikutus jätepuun hyödyntämisen synnyttämiin kustannusvaikutuksiin, sillä jos vapautuvan hakkeen polttaminen turpeen sijaan jää toteutumatta, on jätepuu järkevämpää ohjata lastulevyn valmistuksen sijaan suoraan arinapolttoon. Kuitupakkausten rahdin välttämisen tuottamat hyödyt ovat muiden jakeiden materiaalihyödyntämiseen nähden

verrattain pienet, joten kuitupakkausten kierrättämisen nettohyöty oli vain noin 50 e/tonni. Pelkkiä tuontikustannuksia välttämällä ei siis saavuteta merkittäviä säästöjä.

Tässä hankkeessa tarkastelluista polttoratkaisuista kannattavin oli kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen poltto REF-kattilassa (Kp 5, n. -150 e/kierrätyspolttoainetonna). Ratkaisun edullisuus muihin polttovaihtoehtoihin nähden perustuu osin laitoksen hyvään hyötysuhteeseen, mutta pääasiallisesti muita kattiloita alhaisempiin pääoma- ja investointikustannuksiin. Jos tarkasteltavaan kattilaan olisi asennettu tuorehöyryn jälkitulistin, olisivat polton yksikkökustannukset nousseet, minkä myötä järjestelmän kannattavuus olisi heikentynyt. Kierrätyspolttoaineen polttaminen sekajätteen kanssa yhdessä arinakattilassa tai RDF-kattilassa (Kp 1-4) synnytti nettohyötyjä 13 - 83 e/tonnilta järjestelmästä riippuen. Arinapolttoratkaisujen kannattavuus perustui, kuten sekajätteen tapauksessakin, korvattavaksi oletettuun polttoainevalikoimaan ja hyötykäytetyn energian määrään. Teollisuuden yhteydessä hyvällä hyötysuhteella toimiva laitos tuottaa kierrätyspolttoaineita poltettaessa suurimmat nettohyödyt silloin, kun korvataan määrällisesti eniten fossiilisista polttoaineista kalleinta: öljyä (Kp 2). Asetta vähemmän säästöjä saadaan korvattaessa puun ja maakaasun yhdistelmään perustuvaa erillistä lämmöntuotantoa (Kp 1) tai turvetta käyttävää yhteistuotantoa (Kp 3). RDF-kiertoleijulaitoksen kannattamattomuus suhteessa REF-kattilaan perustui käytetyn vertailulaitoksen korkeampiin laituskustannuksiin ja alhaisempaan hyötysuhteeseen.

Verrattaessa sekajätteen hyödyntämis- ja käsittelyratkaisuja kuitu-, puu- ja muovijätteen hyödyntämis- ja käsittely-ratkaisuihin on tärkeää huomioida, että sekajätteen polton kannattavuutta heikentävät jätteen noutokuljetuksen suuret kustannukset. Myös kuitupakkausten, puujakeen ja muovin saavuttamat yhteiskunnalliset nettohyödyt alenisivat, jos jätelajeille mallinnettaisiin kuljetusten lisäksi noutojärjestelmä. Tutkimuksessa kuitenkin oletettiin, että teollisuudessa syntyvät jätteet noudetaan suurina, siirtokuormien kokoisina erinä.

6.3

Biojätteen hyödyntämisketjut

Biojätteen kompostoinnin suurimmaksi potentiaaliseksi ympäristövaikutukseksi osoittautui ammoniakkipäästöjen aiheuttama maaperän rehevöityminen. Lisäksi kompostoinnin metaanipäästöt lisäävät potentiaalisia ilmastonmuutosvaikutuksia. Ammoniakilla on myös jonkin verran hiukkasvaikutuksia ja happamoitumista lisääviä ominaisuuksia. Jos biojätteestä saatavalla kompostituotteella korvataan turpeen käyttöä viherrakentamismullan raaka-aineena, saadaan kasvihuonekaasupäästöihin myös säästöjä, mutta ilmastovaikutus jää joka tapauksessa kuormittavalle puolelle noin 17 kg CO₂-ekv/biojätetonna (Kuva 140).

Mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmän aiheuttamista potentiaalisista vaikutuksista keskeisimmät olivat ilmastonmuutos ja maaperän rehevöityminen: kompostointia edeltävä mädätys pienentää ammoniakkipäästöjä, mutta mädätyksen energian kulutus vastaavasti lisää hiilidioksidipäästöjä. Jos kuitenkin mädätyksellä tuotetun biokaasun voidaan olettaa korvaavan fossiilisia polttoaineita, kuten turvetta, saadaan vältettyä ilmastonmuutosta aiheuttavia päästöjä enemmän kuin niitä tuotetaan, noin -70 kg CO₂-ekv/biojätetonna. Mädätyksen käyttämän energian tuotannon rikin ja typen oksidit voivat aiheuttaa hiukkasvaikutuksia, mutta mädätyskaasun polttaminen turpeen sijaan tuottaa säästöjä, jotka ovat päästöjä suuremmat.

Mädätys osoittautui tässä tutkimuksessa siis kompostointia järkevämmäksi biojätteen käsittelytavaksi, koska prosessin lopputuotteena saadaan kiinteän ja edelleen materiaalina hyötykäytettävän mädätteen lisäksi biokaasua, joka soveltuu energiantuotantoon. Vaikka kompostoinnin CO₂-ekv-tase onkin vaatimaton mädätykseen

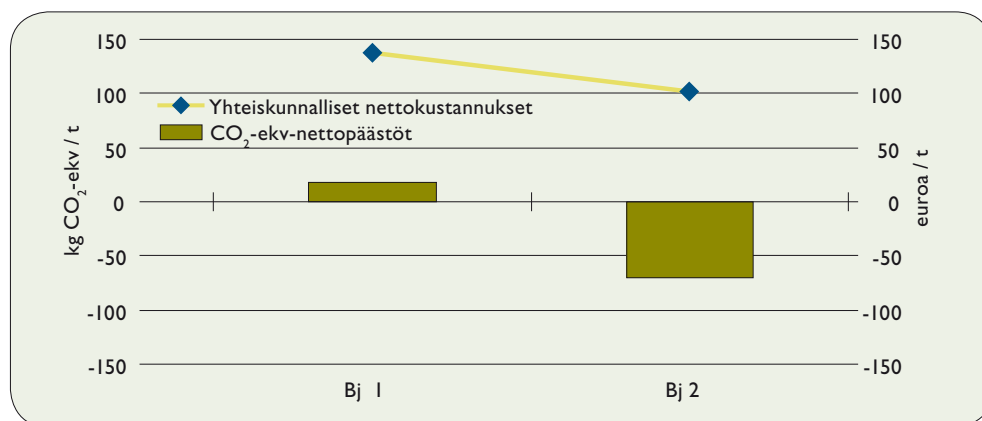
verrattuna, ovat hyödyt merkittävästi suuremmat, kuin jos jäte sijoitettaisiin käsittelemättömänä kaatopaikalle.

Biojätteen käsittelyketjuissa raaka-aineiden ja tuotteiden kuljetusten osuus CO₂-kuormituksesta oli noin 15 %, josta noudon osuus oli kaksi kolmannesta. Noutovaiheella olikin kuljetuksissa merkittävin rooli, sillä esim. lopputuotteen kuljetuksen osuus kuljetuksista on 40 km:n kuljetusetäisyydellä alle 2 %. Nettopäästöissä eli vältetyt päästöt mukaan lukien kuljetusten merkitys oli kuitenkin biojätteenkin käsittelyketjussa hyvin vähäinen.

Elinkaaren aikainen yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus oli mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä (Bj 2) noin 25 % pienempi kuin koko biojättemassan kompostoinnilla (Bj 1) (Kuva 140). Tulos perustuu eroihin yksityistaloudellisissa laitoskustannuksissa. Olemassa oleviin laitoksiin perustuvia lähtötietoja käyttäen laitosmädätys on laitoskompostia noin 45 euroa/tonni eli yli 50 % halvempaa (Myllymaa ym. 2008). Mädätyksen laitoskustannus saisi nousta yli 85 %, jotta mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmästä muodostuisi kompostointia kalliimpi vaihtoehto.

Vältettävien toimintojen – turpeen oton ja turpeen polton - tuottamat kustannussäästöt olivat kerättyä jätetonna kohden ilmaistuna lähes yhtä suuret, käsiteltiin biojäte sitten kompostoimalla (Bj 1) tai mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä (Bj 2). Kompostointi menetelmänä tuottaa enemmän kompostimassaa hyödynnettäväksi kasvualustana, mutta mädätyksestä saadaan lisäksi biokaasuhyvitys ja vältetään turpeen polton päästökauppakustannukset.

Menetelmien ympäristönettokustannukset perustuvat ylivoimaisesti kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuviin ja vältettyihin kustannuksiin, mutta myös rikin ja typen oksidien synnyttämiä kustannuksia vältetään silloin, kun biojätteestä mädättämällä tuotettua mädätyskaasua voidaan polttaa turpeen sijaan (Bj 2). Yhteiskunnallisissa nettokustannuksissa, 137 e/kompostoitu ja 102 e/mädätetty biojätetonna, ympäristövaikutusten rahalliset arvot jäävät kuitenkin mitättömän pieniksi.



Kuva 140. Biojätteen hyödyntämisketjujen CO₂-ekv-päästöt ja yhteiskunnalliset nettokustannukset.

Jätevesilietteen hyödyntämisketjut

Jätevesilietteen käsittelyn suurin potentiaalinen ympäristövaikutus kaikissa tutkituissa hyödyntämisvaihtoehdoissa oli kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmaston lämpeneminen, mutta vältetyt vaikutukset mukaan luettuna ilmastovaikutus jäi kuitenkin hyvitysten puolelle. Vaihtoehtojen tuottamia CO₂-päästöjä hallitsivat prosessien lämmön ja sähkön tarve: mädätys vaatii energiaa noin 300 MJ/t, kompostointi noin 80 MJ/t ja terminen kuivaus noin 315 MJ/t (Myllymaa ym. 2008). Prosessisähkön lisäksi terminen kuivaus käyttää öljyä noin 50 kg eli 2 200 MJ:n edestä kuivattavaa lietetonna kohti, mikä lisäsi vaihtoehdon kuormitusta.

Paras nettotulos CO₂-ekv-päästöjen kannalta saatiin kuivattaessa liete termisesti ja poltettaessa se arinakattilassa, jonka tuottama energia korvaa fossiilisia polttoaineita, öljyä, maakaasua ja kivihiiltä (L 3) (Kuva 141). Arinapoltoissa, kuten termisissä prosesseissa ylipäätään, saadaan hyödynnettyä materiaalin lähes koko orgaaninen energiasisältö, kun taas seuraaviksi tullevissa vaihtoehdoissa, mädätyksessä, mikrobit eivät yllä samalle tasolle. Arinapoltoilla voidaan tuottaa energiaa alkuperäistä, märkää lietetonna kohti noin 3 700 MJ/t, joten nettoenergiaksi jää termisessä kuivauksessa käytetyn dieselin energiasisältö huomioon ottaen noin 1 200 MJ/t.

Mädätyksessä tuotetusta biokaasusta saadaan kuitenkin selvästi hyötyä, jos biokaasulla korvataan öljyn (L 1) tai turpeen polttoa (L 2), sillä 60 - 90 % energian saannolla biokaasun avulla saadaan energiaa noin 1042 - 1 550 MJ/t, eli nettoenergiaksi jää mädätyksen ja kompostoinnin vaatima energia huomioon ottaen noin 660 - 1 200 MJ/t. Nettoenergian osalta päästiin arinapoltoilla ja mädätyksellä samaan lopputulokseen, mutta koska vältetyt päästöt ratkeavat tuotetun energian perusteella, terminen kuivaus yhdistettynä arinapoltoon jäi tämän tutkimuksen tarkastelussa moninkertaisesti mädätystä paremmaksi mm. siksi, että arinapolttolaitoksen tuottamasta energiasta yli neljännes oli sähköä, kun taas biokaasu hyödynnettiin lämpökattilassa.

Jätevesiliettele mallinnettu kemiallisen käsittelyn ja kompostoinnin yhdistelmä (L4) oli suoraa kaatopaikkasijoitusta parempi käsittelyvaihtoehto, mutta termiseen kuivaukseen ja mädätykseen verrattuna edut jäivät vähäisiksi ja nettotasekin jonkin verran tuotettujen päästöjen puolelle.

Lietteiden kuljetusten CO₂-ekv-päästöt olivat vain muutamia prosentteja kokonaispäästöistä, ja merkitys kokonaistaseessa on lähes olematon. Teollisten lannoitteiden välttämällä ei niin ikään ollut kasvihuonekaasutaseen kannalta kovin suurta merkitystä, sillä typpi- ja fosforilannoitteiden välttämisen osuus hiilidioksidipäästöistä jäi alle 10 %:iin, siinäkin tapauksessa että sekä mädätteen että rejektivesien ravinteet oletettiin palautettavaksi maaperään. Kompostoidun tai mädätetyn ja kompostoidun materiaalin käyttö viherrakentamismullan raaka-aineena turpeen sijaan antoi suuruusluokaltaan ravinnehyvityksiä vastaavan hyödyn, kun vältettiin turpeen oton päästöt.

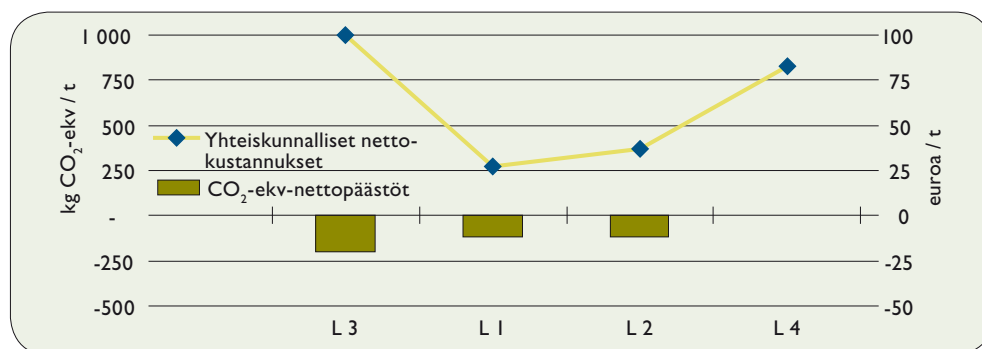
Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta merkittävimmät oletukset liittyvät vältettyihin polttoaineisiin sekä oletuksiin tuotetun energian tarpeesta ja hyötysuhteista. Tarkasteltujen vaihtoehtojen edustavuus on kuitenkin heikko, sillä erityisesti biologisten prosessien eli kompostoinnin ja mädätyksen lähtöparametrit ja olosuhteet vaihtelevat tapauskohtaisesti, joten päästöistä ja taseista oli vaikeaa saada edustavaa tietoa.

Ilmastonmuutos oli selvästi merkittävin potentiaalinen ympäristövaikutus liettele tarkastelluissa käsittelyketjuissa. Muita, mutta vähemmän merkityksellisiä potentiaalisia vaikutuksia olivat hiukkasvaikutukset, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen, joiden aiheuttajia ovat kompostoinnin ammoniakkipäästöt ja energian käytön ja polton rikin ja typen oksidit. Lietteen kemiallinen käsittely ja kompostointi tuottivat pienimmän ympäristökuormituksen, mutta myös menetelmän saamat hyödyt olivat vaihtoehdoista vähäisimmät. Käytetyillä tutkimusmenetelmillä

ei kuitenkaan voitu arvioida vaihtoehtojen hygieenistä turvallisuutta, veden tai orgaanisen aineksen palauttamista ekologiseen kiertoon tai luonnonvarojen säästöä.

Kaikki lietteiden käsittelymenetelmät synnyttivät yhteiskunnalle enemmän kustannuksia kuin säästöjä. Kalleimmat järjestelmistä olivat termistä kuivausta ja arinapoltttoa (L 3, n. 100 e/lietetonni) ja kemiallista käsittelyä ja kompostointia (L 4, n. 80 e/lietetonni) käyttävät menetelmät. Vaihtoehdon L 4 kustannukset syntyvät pääasiassa kemiallisesti hygienisoidun lietteen laitoskompostoinnista. Kemiallisen hygienisoinnin kustannusvaikutus on suhteellisen alhainen ja tarkasteltu vaihtoehto voisi olla lähes puolet halvempi, jos liete kompostoitaisiin pelkistetyimmillä menetelmillä. Lietteiden termisen kuivauksen kustannukset perustuvat menetelmän käyttämän polttoaineen, öljyn kalleuteen.

Lietteiden käsittely mädättämällä ja kompostoimalla maksaa yhteiskunnalle 30 - 40 e/lietetonni riippuen siitä, korvataanko biokaasun tuottamalla energialla öljyn vai turpeen polttoa. Prosessin mädätysneste voidaan mahdollisesti hyödyntää teollisten lannoitteiden korvikkeena, joskin nestemäisen lannoitteen levittäminen pellolle voi olla työläämpää kuin kiinteän ja aiheuttaa järjestelmään lisäkustannuksia. Lannoitehyvityksen osuus kaikista vältetyistä kustannuksista oli vain 20 - 30 %:n luokkaa, eikä sen toteutumatta jääminen vaikuttanut neljän vertailtavan vaihtoehdon keskinäiseen järjestykseen. Saavutettavien kustannussäästöjen kannalta tärkeintä on se, mitä polttoainetta biokaasulla voidaan olettaa korvattavan.



Kuva 141. Lietteiden hyödyntämisvaihtoehtojen CO₂-ekv-päästöt ja yhteiskunnalliset nettokustannukset.

6.5

Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyn hyödyntämisketjut

Jätevesilietteen ja biojätteen yhteiskäsittelyketjujen merkittävin potentiaalinen ympäristövaikutus oli ilmastonmuutos. Kasvihuonekaasuja aiheuttavia prosesseja ovat mädätyksen energiankulutus, kompostoinnin metaanipäästöt ja termisessä kuivauksessa poltettu öljy.

Tässä hankkeessa tarkastelluista vaihtoehtoista CO₂-ekv-nettopäästöjen kannalta järjevin tapa käsitellä lietteet ja biojätteet oli mädättää ne maatilakokoluokan mädättämössä, jossa biokaasun energia muutetaan mikroturbiinin avulla sähköksi ja lämmöksi (L&Bj 1). Tällainen ratkaisu voisi soveltua maaseutuympäristöille haja-asutusalueelle, jossa on kotieläintaloutta. Maatilalla mädänte voidaan sijoittaa pellolle ilman kompostointia, jolloin myös kompostoinnin metaanipäästöt jäävät syntymättä. Seuraavaksi paras kasvihuonekaasupäästöjen kannalta on vaihtoehto, jossa jäteseos mädätetään laitoskokoluokan ratkaisussa, kompostoidaan ja biokaasu poltetaan turvekattilassa turpeen sijaan (L&Bj 2). Yhtä paljon vältettiin päästöjä, jos biokaasu korvasi öljyn polttoa (L&Bj 3). Sen sijaan termisen kuivauksen raaka-aineeksi

(L&Bj 4) ei kasvihuonekaasutaseen kannalta ollut järkevää, sillä teollisten lannoitteiden valmistuksen välttämiseksi ei saada kovin suuria säästöjä, kuten jo lietteen käsittelyketjujen kohdalla voitiin todeta. Jos ravinteita halutaan palauttaa maaperään, olisi se parempi tehdä peltoon kuin metsään, jos tuotteistaminen metsälannoitteeksi edellyttää termisen kuivauksen kaltaisen prosessoinnin. Tase tosin saattaisi muuttua, jos terminen kuivaus voitaisiin toteuttaa esim. energialaitosten hukkalämmöllä tai muilla polttoaineilla kuin öljyllä.

Keskeisimmät tuloksiin vaikuttavat oletukset ovat välttetyt energian polttoaineet ja polttoprosessien energian saanto.

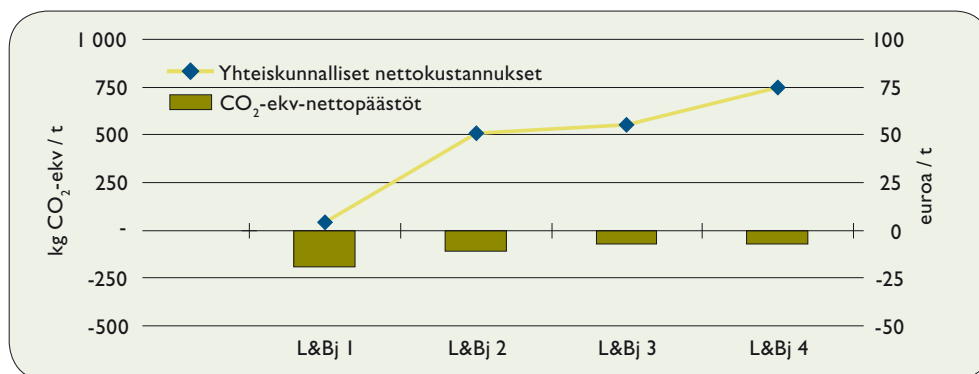
Muita lietteiden ja biojätteiden yhteiskäsittelyn ympäristövaikutuksia olivat hiukkasvaikutus, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen, jotka aiheutuvat lähinnä kompostoinnissa vapautuvasta ammoniakkipäästöistä. Rikin ja typen oksideja syntyy ennen kaikkea energiantuotannosta ja kuljetuksista, ja näillä toimilla oli merkittävä osuus kaikkien edellä mainittujen vaikutusten syntymisessä.

Hyvitykset ovat merkittävimmät samoissa vaikutusluokissa kuin kuormituksetkin: turpeen polton välttämällä jää syntymättä erityisesti happamoittavia ja hiukkasvaikutuksia sekä rehevöitymistä aiheuttavia typen päästöjä, kun taas öljyn käytön välttämällä vähennetään sekä hiukkasvaikutuksia että happamoitumista aiheuttavia rikin oksideja.

Muita keskusteluissa esille tuotuja, erityisesti lietteiden ja biojätteiden käsittelyyn liittyviä vaikutuksia ovat hygieeninen turvallisuus, veden, humuksen, ravinteiden ja orgaanisen aineksen palauttaminen ekologiseen kiertoon ja luonnonvarojen säästyminen, mutta näiden vaikutusten vertailuun rinnan muiden vaikutusluokkien kanssa ei elinkaariarvioinnissa löydy vielä yleisesti hyväksytyjä menetelmiä.

Yhteiskunnan maksettavaksi lankeavien kustannusten kannalta kaikki tässä tutkimuksessa tarkastellut liete-biojäteseoksen käsittelymenetelmät aiheuttivat nettomääräisesti enemmän kustannuksia kuin säästöjä. Kannattavin menetelmä oli maataloilla tapahtuva ns. maatilakokoluokan mädätys (L&Bj 1), jossa saadaan 4 e/jätetonnin nettokustannusvaikutuksella tuotettua biokaasusta sähköä ja lämpöä ja ravinteita peltolannoitekäyttöön. Perinteiset mädätysvaihtoehdot (L&Bj 2 ja L&Bj 3) ovat kustannusten suhteen tasaväkisiä nettokustannuksen ollessa noin 50 euroa jätetonnia kohti. Terminen kuivaus öljyä polttamalla sen sijaan oli menetelmästä kallein 75 euron tonnikohtaisella nettokustannuksellaan.

Maataloilla tapahtuvan mädätyksen etuja ovat lyhyemmät keskimääräiset kuljetusmatkat, alhaiset laitosinvestoinnit ja käyttökustannukset sekä kompostoinnin tarpeettomuus. Kun mädäte ja mädätysneste viedään samaan peltoon tai käytetään seoksena, voidaan lannoitteen mahdollisesti olettaa korvaavaan teollista typpi-fosfori-lannoitetta, jossa ravinteiden suhde on 22:5. Biokaasun energian muuntaminen mikroturbiinilla sähköksi ja lämmöksi tuotti 80 % kaikista hyödyistä, joita yhteiskunnassa syntyi maatilamädättämön toiminnasta. Laitosmädätyksen korkeammat yhteiskunnalliset nettokustannukset aiheutuvat lähes kaksinkertaisista laitoskustannuksista. Termisen kuivauksen kalleus perustuu puolestaan käytettäväksi oletetun polttoaineen, öljyn, hintaan.



Kuva 142. Lietteen ja biojätteen yhteishyödyntämisketjujen CO₂-ekv-päästöt ja yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset.

Aluekohtaisten järjestelmätarkastelujen tulokset

POLKU-hankkeeseen valituille alueille kohdistettujen järjestelmätarkastelujen tavoitteena oli mallintaa mahdollisimman realistisesti erityisesti jätteen polton vaikutuksia, eri alueilla olemassa oleviin energiantuotantjärjestelmiin ja niissä jätteen polton lisääntymisen johdosta odotettavissa oleviin muutoksiin pohjautuen. Jokaisella tutkitulla neljällä alueella vuosittain syntyvälle polttokelpoisten jätteiden määrälle muodostettiin alueen suunnitelmiin ja nykyisiin käytäntöihin tukeutuvat jätehuoltovaihtoehdot. Tarkastelussa ei haettu optimitalannetta, koska se olisi vaatinut tuekseen ensin kaikkien mahdollisten ratkaisujen ja niiden yhdistelmien mallintamisen ja vertailun. Sen sijaan tavoitteena oli vertailla kahdenlaisin valintakriteerein – materiaalien kiertoa painottamalla ja energian tuotantoa painottamalla – saatavia, mutta samalla realistisia ratkaisuja.

Tuloksista vertailukelpoisia ovat ainoastaan samalle alueelle laadittujen skenaarioiden tulokset. Alueiden välinen vertailu ei ole tarkoituksenmukaista sen vuoksi, että jätemäärät ovat erisuuruiset ja eri alueiden jätehuoltovaihtoehtojen valintakriteerit ovat olleet erilaiset.

Kaikilla alueilla jätehuoltojärjestelmien tärkeimmäksi potentiaaliseksi ympäristövaikutukseksi osoittautui ilmastonmuutos, joskin vältettävissä olevat kasvihuonekaasupäästöt olivat kaikissa mallinnetuissa järjestelmissä tuotettuja suuremmat. Muita potentiaalisia vaikutuksia ovat happamoituminen ja hiukkasvaikutus, joita aiheuttavat energian tuotannon rikin ja typen oksidit, mutta näissäkin vaikutusluokissa vältetyt päästöt olivat suuremmat kuin järjestelmässä tuotetut.

Potentiaalisten ilmastonmuutosvaikutusten suuruuteen todettiin olevan eniten vaikutusta oletuksilla, jotka liittyvät tuotetulla energialla korvattaviin polttoaineisiin. Eri alueet ovat korvattavien polttoaineiden suhteen eri asemassa: pohjoisessa ja Pohjanmaalla käytetään turvetta, eteläisessä Suomessa maakaasua, öljyä ja kivihiiltä ja itä- ja Keski-Suomessa puolestaan puuta ja turvetta (Liite 3). Teollisuuslaitosten yhteyteen sijoitettava jätteen poltto vaikuttaa muiden polttoaineiden käyttöön laitoskohtaisesti ja tyypillisesti esim. puunjalostusteollisuuden polttoaineissa on melko suuri osa puuta.

Alue 1

Palvelukeskeistä kaupunkialuetta edustavalle pääkaupunkiseudulle (1) tässä tutkimuksessa mallinnetuissa skenaarioissa ilmastonmuutosta aiheuttavia CO₂-ekv-päästöjä voitiin välttää eniten, jos alueen sekajätteet poltettiin hyvällä hyötysuhteella arinalaitoksessa, jonka kaikelle energiantuotannolle löytyi tarvetta eli järjestelmän energian saanto oli korkea. Nämä edellytykset täyttyivät alueen polttolaitossuunnitelmista parhaiten vaihtoehdossa, jossa arinalaitos sijoitetaan höyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen. Tämä vaihtoehto valittiin alueelle laadittuun ns. energiapainotteiseen skenaariovaihtoehtoon (Kuva 143). Lisäedellytyksenä oli, että tuotetulla energialla voidaan välttää kivihiililauhdevoimalla tuotettua sähköä. Vielä suuremmat hyödyt tosin saataisiin, jos sekä tuotettu lämpö että sähkö korvaisivat turpeella tuotettua energiaa, mutta turvetta ei käytetä polttoaineena suunniteltujen arinalaitosten vaikutuspiirissä. Edelleen enemmän päästöjä vältettäisiin, jos sekajäte voitaisiin seospolttaa hyvällä hyötysuhteella, olemassa olevissa kattiloissa ja esimerkiksi kivihiilen sijaan, mutta alueella ei ole tämänsuuntaisia suunnitelmia. Tehokkaasti energiaa hyödyntävässä energiapainotteisessa skenaariossa sekajätteen rooli on tällä alueella hallitseva, sillä vältettyjen CO₂-ekv-päästöjen potentiaalista sekajätteen osuus on yli 60 %. Seuraavaksi merkittävin rooli on kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetulla kierrätyspolttoaineella, jonka osuus on noin 30 %. Biojätteiden ja lietteiden käsittelyn osuus vältetyistä päästöistä on 10 %.

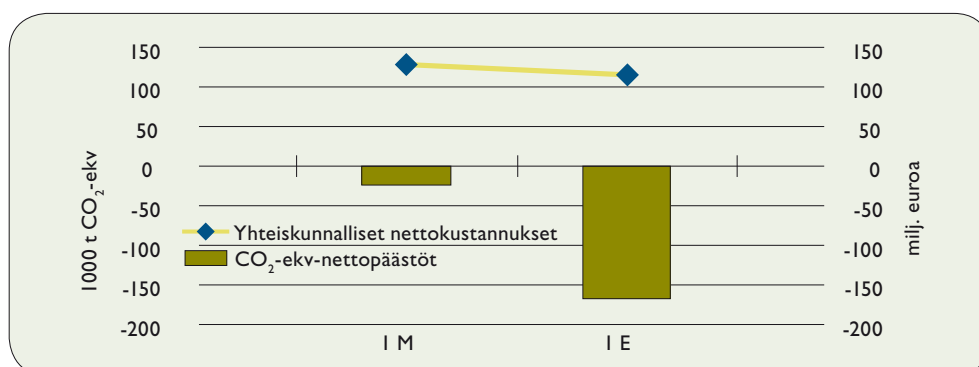
Jos sekajäte poltetaan arinalaitoksessa, jonka tuottamasta energiasta vain noin kolmannekselle löytyy käyttöä, kasvaa muiden jätelajien kuin sekajätteen rooli kasvihuo-

nekaasutaseen kannalta merkittävästi. Suurin merkitys vältettävien CO₂-ekv-päästöjen kannalta, noin 40 %, olisi jätevesilietteillä, mikäli ne mädätettäisiin ja biokaasu poltettaisiin öljykattilassa öljyn sijaan. Muovijätteen kierrätyksellä on suurin tonnikohtainen CO₂-ekv-säästöpotentiaali, mutta sen osuus alueellisista jätevirroista on niin pieni, että materiaalien kiertoa painottavassa ratkaisussa muovin rooli vältetyissä päästöissä jäi noin 20 %:iin. Biojätettä syntyy alueella lähes yhtä paljon kuin lietteitä. Mikäli materiaalipainotteisessa ratkaisussa olisi valittu biojätteen kompostoinnin tilalle energiapainotteisen järjestelmän tavoin lietteiden ja biojätteiden yhteismädätys, olisivat lietteen käsittelyssä syntyneet päästösäästöt kaksinkertaistuneet nyt tehtyyn tarkasteluun nähden.

Molemmissa järjestelmissä yhteiskunnalliset nettokustannukset olivat lähes samansuuriset, kun huomioidaan myös toteutumatta jääneen järjestelmän synnyttämät vaihtoehtoiskustannukset. Järjestelmän kokonaiskustannusten kannalta oleellisinta oli se, miten sekajätteen jätehuolto järjestetään alueella. Sekajätteen hyödyntämisen suorat kustannukset ja vaihtoehtoiskustannukset kattoivat puolet alueen järjestelmäkustannuksista. Sekajätteen käsittelyn kustannusero teollisuuden ja taajaman läheisyydessä sijaitsevan arinalaitoksen välillä oli noin 20 % ja suurin ero syntyi kahden järjestelmän vaihtoehtoiskustannusten välillä: jos sekajätteestä teollisuusalueella tuottamatta jäänyt sähkö tuotetaan kivihiihilauhteella ja lämpö puun ja maakaasun yhdistelmällä, niin kustannus on noin 50 % kalliimpi kuin silloin, jos taajamassa tuottamatta jäänyt energia tuotetaan Suomen keskimääräiseen sähkön- ja lämmöntuotantoon perustuen. Hankkeessa oletetuilla energiantuotantokorvaavuuksilla jätteestä tuotettu energia on siten järkevintä hyödyntää korvaamassa teollisuusalueen nykyistä energiantuotantoa. Kustannusten kannalta vielä parempi ratkaisu olisi, jos sekajätteestä tuotettu energia voisi korvata marginaalista lämmöntuotantoa öljyllä.

Muiden jätelajien kustannusvaikutus alueella oli 2-20 %:n luokkaa. Biojätteen sisältämän energian hyödyntäminen öljyn polton sijaan vaikutti sekajätteen jälkeen merkittävimmin siihen, että jätteen energiapainotteinen järjestelmä oli hieman materiaalipainotteista järjestelmää kannattavampi. Alueella syntyvän jätevesilietteen kustannusvaikutus oli jätelajeista toiseksi pienin 5 %:n osuudella ja kustannus oli lähes sama kummassakin järjestelmässä.

Puu- ja muovijätteelle materiaalina hyödyntäminen oli järkevintä, vaikka polton kustannukset ovatkin alhaisemmat kuin puun ja muovin prosessointi uusioraaka-aineeksi ja valmiiksi lopputuotteeksi asti. Lopputuotteiden valmistamisen vaihtoehtoiskustannukset, eli viemäriputken valmistaminen ensiömuovista ja lastulevyn hakkeesta, olivat kuitenkin merkittävästi suuremmat kuin sähkön- ja lämmöntuotanto alueelle tyypillisellä energiantuotantorakenteella. Kuitupakkausjätteen hyödyntäminen puolestaan tuotti lähes yhtä suuret kokonaiskustannukset, hyödynnettiin se sitten materiaalina tai energiana..



Kuva 143. Pääkaupunkiseudun alueen jätteiden jätehuoltovaihtoehtojen päästöt materiaali- ja energiapainotteisissa vaihtoehdoissa ja vaihtoehtojen yhteiskunnalliset nettokustannukset.

Alue 2

Teollista kaupunkialuetta edustavalle Pirkanmaalle (2) tässä tutkimuksessa mallinnetuissa skenaarioissa ilmastonmuutosta aiheuttavia CO₂-ekv-päästöjä voitiin välttää tehokkaammin energiapainotteiseen skenaariovaihtoehtoon valitussa ratkaisussa, jossa alueen sekajätteet poltettiin hyvällä hyötysuhteella teollisuuden yhteyteen perustetussa arinalaitoksessa, jonka kaikelle energiantuotannolle löytyi tarvetta. Keskeisenä oletuksena oli, että tuotetulla energialla voidaan välttää kivihiililauhdevoimalla tuotettua sähköä. Turve ei ole todennäköinen korvattava polttoaine, koska se ei kuulu tehtaan tai lähialueen polttoainevalikoimaan, sen sijaan toinen vaihtoehto voisi olla maakaasu, jota käytetään alueen kombivoimalaitosten polttoaineena. Sen korvaamista ei kuitenkaan pidetty todennäköisenä vaihtoehtona, koska maakaasukäyttöisen kombivoimalaitoksen hyötysuhde ja rakennusaste eli sähkön osuus energian kokonaistuotannosta on arinalaitosta sen verran parempi, että käytännössä alueelle olisi jäänyt sähkövajetta, joka tarvitsisi täyttää jollakin muulla tavoin, pahimmassa tapauksessa kivihiililauhdevoimaa lisäämällä. Sen sijaan vältettyjä päästöjä saataisiin enemmän myös siinä tapauksessa, jos sekajäte voitaisiin seospolttaa hyvällä hyötysuhteella olemassa olevissa kattiloissa esimerkiksi kivihiilen sijaan.

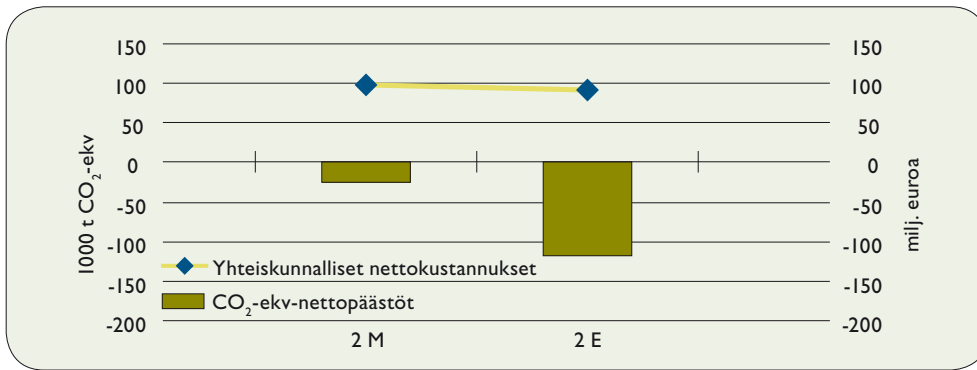
Energiapainotteisessa vaihtoehdossa sekajätteen rooli alueella vältettävien CO₂-ekv-päästöjen potentiaalista oli pääkaupunkiseudun tavoin merkittävä, yli 75 %, joskin luvussa on mukana myös arinalaitoksessa poltetun lietteen osuus. Seuraavaksi merkittävin rooli oli kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistetulla kierrätyspolttoaineella, jonka osuus oli noin 25 %. Biojätteiden käsittelyllä voidaan välttää loppu 5 %.

Materiaalipainotteiseen järjestelmään valittiin sekajätteen jätehuoltovaihtoehdoksi poltto taajamaan sijoitetussa arinalaitoksessa, jonka tuottamasta energiasta vain noin kolmannekselle löytyi käyttöä. Tässä ratkaisussa muiden alueen jätelajien jätehuoltovaihtoehtojen merkitys kasvoi jälleen huomattavasti. Lähes yhtä suuret CO₂-ekv-päästöjen vähennyspotentiaalit, yli 30 % vältetyistä CO₂-ekv-päästöistä, olivat puulla ja muovilla, joita teollistuneella Pirkanmaan alueella syntyy sekajätteeseen suhteutettuna enemmän kuin pääkaupunkiseudulla. Mädätetyn jätevesilietteen osuus oli noin 20 %, jos kaasu poltetaan turvekattilassa turpeen sijaan.

Kustannusvaikutukset Pirkanmaan alueelle mallinnetuissa järjestelmissä olivat hyvin samankaltaiset kuin pääkaupunkiseudulla. Kaksi järjestelmää olivat kokonaisuudessaan lähes yhtä kalliita, ja merkittävimmät erot syntyivätkin jätelajikohtaisessa tarkastelussa. Sekajätteen arinapolttolaitoksen sijainti oli keskeisessä asemassa: järkevällä laitossijoittamisella varmistetaan, että jätteestä tuotettu energia tulee mahdollisimman tehokkaasti hyödynnetyksi ja korvaa kustannuksiltaan kallista energiantuotantoa.

Biojätteen biokaasupotentiaalin hyödyntäminen kompostoinnin sijaan oli pääkaupunkiseudulla kuitenkin 20 prosenttiyksikköä kannattavampaa kuin Pirkanmaalla, koska Pirkanmaan alueella korvattavaksi oletettu polttoaine, turve, on öljyä huomattavasti halvempaa. Myös lietteiden käsittelyn kustannuksissa oli eroa, koska öljykäyttöiseksi oletettu terminen kuivaus ja kuivatun lietteen arinapoltto yhdistelmänä on selkeästi kannattamattomampi kuin lietteen mädätys. Energiapainotteinen järjestelmä kokonaisuutena olisikin hieman mallinnettua järjestelmää kannattavampi, jos biojätteet ja lietteet mädätettäisiin seoksena sen sijaan, että kuivatun liete poltettaisiin sekajätteen seassa. Kaiken kaikkiaan biojätteen ja lietteen yhteenlaskettu kustannusvaikutus oli kuitenkin vain noin 10 % alueen kokonaiskustannuksista.

Puu-, kuitu- ja muovijätteen osalta tarkastelu noudattaa alueen 1 tarkastelua, joskin muovijätteen synnyttämät järjestelmäkustannukset olivat varsin suuret muovijätteen sekä absoluuttisesti että suhteellisesti suuremman saannon vuoksi.



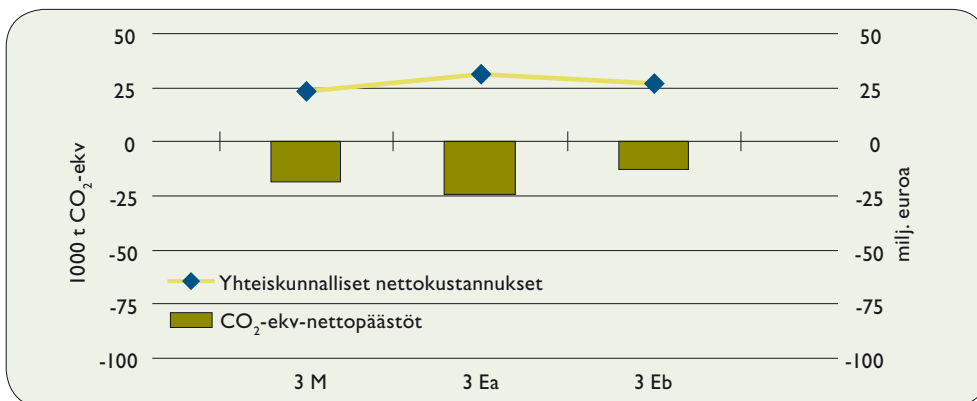
Kuva 144. Pirkanmaan alueen (2) jätteiden jätehuoltovaihtoehtojen päästöt materiaali- ja energiapainotteisissa vaihtoehdoissa ja vaihtoehtojen yhteiskunnalliset nettokustannukset.

Alue 3

Alkutuotantopainotteista maaseutua edustavalla Pohjois-Karjalan alueella (3) jättemäärät ovat vain viidennesen pääkaupunkiseutuun verrattuna. Skenaarioita laadittiin kolme, joista yhdessä haettiin materiaalin kiertoon ja kahdessa muussa energian tuotantoon painottuvia ratkaisuja. Vaihtoehtoja laadittaessa otettiin huomioon käytännön mahdollisuudet toteuttaa erilaisia ratkaisuja alueelle, jonka itse tuottamat jättemäärät ovat melko vähäiset.

Ilmastonmuutosta aiheuttavia CO₂-ekv-päästöjä voitiin välttää kaikissa kolmessa alueen skenaariossa (Kuva 145), mutta tehokkaimmin energiapainotteiseksi valitussa ratkaisussa, jossa sekajätteestä valmistettiin mekaanisesti RDF-kierrätyspolttoainetta poltettavaksi samassa laitoksessa teollisuuden kuitu-, puu-, ja muovijätteen kanssa (Ea). Pienten jättekertymien vuoksi alueelle ei mallinnettu vaihtoehtoa, jossa jätteet olisi poltettu arinalaitoksessa. RDF-laitosvaihtoehdossa keskeisenä oletuksena oli, että tuotetulla energialla voidaan välttää kivihiihilauhdevoimalla tuotettua sähköä ja mm. öljyllä tuotettua lämpöä. Päästöjä saataisiin vältettyä enemmän esimerkiksi siinä tapauksessa, jos tuotetulla energialla voitaisiin korvata turvetta tai sekajäte voitaisiin seospolttaa olemassa olevissa kattiloissa. Alueella ei kuitenkaan ole tarkoitukseen soveltuvia kattiloita ja turve on Pohjois-Karjalassa melko vähän käytetty polttoaine.

Energiapainotteisessa vaihtoehdossa sekajätteen rooli alueella vältettävien CO₂-ekv-päästöjen potentiaalista oli noin 75 %. Kuitu-, puu- ja muovijätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine ja yhdessä käsitellyt biojäte ja liete vastasivat loppuosasta tasaosuuksin. Biojätteestä ja lietteestä saatavia hyötyjä voitaisiin lisätä edelleen, jos alueella olisi riittävästi maatiloja jätteiden mädättämiseen pienessä mittakaavassa.



Kuva 145. Pohjois-Karjalan alueen (3) jätteiden jätehuoltovaihtoehtojen päästöt materiaali- ja energiapainotteisissa vaihtoehdoissa ja vaihtoehtojen yhteiskunnalliset nettokustannukset.

Toisen energiapainotteisen (Eb) ja materiaalipainotteisen järjestelmän erot olivat teollisuuden tuottamille kuiduille, puulle muoville valituissa ratkaisuisa. Molemmilla ratkaisuisa sekajäte sijoitettiin kaatopaikalle, tehostetun biojätteen keräilyn jälkeen, mutta materiaalipainotteisessa skenaariossa teollisuuden jakeet kierrätettiin ja energiapainotteisessa Eb puolestaan poltettiin REF-laatuselle jätteelle tarkoitettussa laitoksessa. Vaihtoehtojen tulosten välillä ei ole merkitseviä eroja, mutta tärkeimmät keskinäiseen järjestykseen liittyvät oletukset olivat kaatopaikalle sijoitetulle sekajätteelle valittu metaanipäästökerroin ja oletus, että REF-laitoksen tuottamalla energialla voidaan korvata kivihiililauhteella tuotettua sähköä ja öljyllä tuotettua lämpöä. Metaania oletettiin syntyvän noin 1 kg/sekajätetonni, kun biojätteen määrää oli vähennetty noin 20 % ja kaatopaikalla vapautuvasta metaanista oletettiin hajoavan pintakerroksessa noin 90 % (EASEWASTE 2007). Eräiden muiden arvioiden mukaan määrä voisi olla yli kymmenkertainen, ja tämä muuttaisi tuloksia olennaisesti kääntäen taseen vältetyistä päästöistä päästöjä tuottavalle puolelle. Vaikutus tulisi kuitenkin molempiin vaihtoehtoista M ja Eb, eikä siis vaikuttaisi niiden keskinäiseen paremmuuteen.

Alueen kolmen vaihtoehtoisen järjestelmän kustannuksia verrattaessa merkitystä oli sillä, mitä kahta vaihtoehtoa verrataan keskenään. Jätteen hyödyntämistä materiaalina painottava vaihtoehto oli kumpaakin energiapainotteista vaihtoehtoa kannattavampi ja järjestelmien Ea ja Eb keskinäinen ero on lähes mitätön, jos niitä verrataan keskenään. Merkittävin ero järjestelmien välillä syntyi sekajätteen käsittelystä. Kun vaihtoehtoiskustannukset huomioidaan, jätteen kaatopaikkasijoittaminen on jätteenpolttua halvempaa, koska jätteenpolton kustannukset ovat suuremmat kuin vastaavan energiamäärän tuottaminen korvattavista polttoaineista. Jätteenpolton kustannuksiin on tällöin laskettu mukaan koko sekajätteen jätehuoltoketjun kustannukset, joista jätteen nouto- ja kuljetuskustannukset ovat merkittävässä roolissa.

Sekajätteen jälkeen suurimmat erot järjestelmäkustannuksissa syntyivät teollisuuden tuottamille kuiduille, puulle ja muoville mallinnetuissa vaihtoehdossa. Kuitujen, puun ja muovin hyödyntäminen materiaalina oli arina- ja REF-laitospolttua kannattavampaa ja näin ollen kannattavin vaihtoehto alueelle. Kahdesta energiahyödyntämisen vaihtoehdosta halvempi oli REF-kiertoleijulaitokseen perustuva ratkaisu. Keskeisenä syynä tähän ovat alhaisemmat laitoskustannukset, mutta myös parempi energiatehokkuus, mikä tarkoittaa, että toisessa polttoratkaisussa tuottamatta jääneen energian tuotantokustannukset perinteisistä polttoaineista jäävät pienemmiksi.

Biojätteen ja lietteen yhteiskäsittely mädättämällä, termisesti kuivaamalla ja rakeistamalla metsälannoitteeksi oli sama kaikissa skenaariossa. Seoksen käsittelyn ja hyödyntämisen kustannusvaikutus oli noin 25 % koko järjestelmän kustannuksista.

Alue 4

Teollistunutta maaseutua edustavalla Pohjois-Pohjanmaalla (4) ilmastonmuutosta aiheuttavia CO₂-ekv-päästöjä voitiin välttää tehokkaasti molemmissa mallinnetuissa järjestelmissä (Kuva 146).

Energiapainotteiseen skenaariovaihtoehtoon valittiin sekajätteen käsittelyksi poltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitettavassa arinalaitoksessa, ja oletuksena oli, että tuotetulla energialla voidaan välttää turpeen käyttöä. Näillä oletuksilla arinapolttolaitoksen tuottamasta energiasta saatiin mahdollisimman suuri saanto, ja vältetyt CO₂-ekv-päästöt olivat mahdollisimman suuret. Sekajätteen hyödyntämisen avulla vältettävät päästöt olivat suuremmat ainoastaan vaihtoehdossa, jossa sekajäte valmistetaan RDF-polttolaitokseen ja poltetaan olemassa olevissa kattiloissa noin kahden prosentin osuudella turpeen sijaan. Tämä vaihtoehto onkin valittu ratkaisuksi materiaalipainotteiseen skenaarioon.

Materiaalipainotteisessa vaihtoehdossa valittiin biojätteelle ja lietteelle käsittelyksi kompostointi ja lopputuotteen käyttö viherrakentamisessa, kun taas energiapainotteisessa ne osittain mädätetään maatilakokoluokan laitoksessa ja osittain keskitetyssä mädättä-

mössä. Näistä mädätystä sisältävillä vaihtoehdoilla saavutettiin suuremmat hyödyt kuin kompostoimalla. Kuidut, puu ja muovijäte on materiaalipainotteisessa vaihtoehdossa kierrätetty ja energiapainotteisessa poltettu arinalaitoksessa, mikä ratkaisi kokonaisuuden pienellä marginaalilla materiaalipainotteisen ratkaisun hyväksi. Ratkaisevana tekijänä oli alueen suuri puumäärä, josta saadaan turpeen polttoa välttämällä merkittävät säästöt CO₂-ekv-päästöinä.

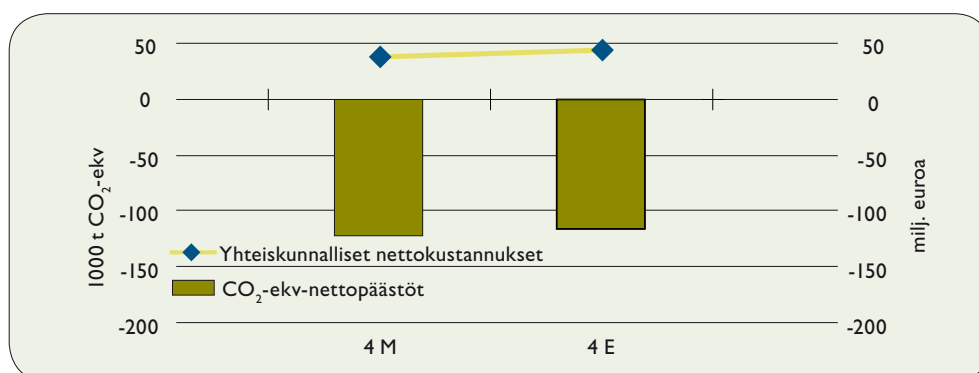
CO₂-ekv-päästöjen kannalta optimaalisessa tilanteessa alueen sekajäte valmistettaisiin RDF-polttoaineeksi ja seospoltettaisiin turvekattilassa, lietteet ja biojäte mädätettäisiin maatilamädättämöissä, kuitu- ja puujäte poltettaisiin ja muovijäte kierrätettäisiin materiaalina. Tällaisen järjestelmän toteutuminen on muilta osin melko toteutumiskelpoinen, mutta todennäköisesti teollisuuden jätteistä ei ryhdytä erottamaan muoveja erikseen, jos muut materiaalit samaan aikaan toimitetaan poltettaviksi.

Molemmissa alueen skenaarioissa sekajätteen rooli alueella vältettävien CO₂-ekv-päästöjen potentiaalista oli selvästi yli 80 %. Materiaalipainotteisessa vaihtoehdossa loppuosaa hallitsi puun käsittelyketju ja energiapainotteisessa vaihtoehdossa REF-kierrätyspolttoaine ja jätevesiliete-biojäte-seos jakoivat loppuosan tasaosuuksin.

Alueen järjestelmistä kokonaiskustannuksiltaan edullisempi oli materiaalipainotteinen skenaario, joskin ero kahden tarkasteltavan järjestelmän välillä oli jälleen kerran lähes mitätön (Kuva 146). Kustannusten muodostumisessa korostui sekajätteen hyödyntämisen vaikutus: sekajätteen käsittelyn osuus kokonaiskustannuksista oli noin 60 %. Sekajätteelle mallinnetut vaihtoehdot, arinapoltto ja seospoltto olemassa olevissa kattiloissa olivat lähes tulkoon yhtä kalliita, sillä eroa oli vain muutama prosentti. Jos polttoratkaisujen hyvitettävät energiantuotantomuodot eroaisivat toisistaan, syntyisi kahden ratkaisun välillä suuremmat erot vaihtohtois-kustannuksissa. Koska kumpikin polttovaihtoehto hyvittää turpeen polttoa, syntyy järjestelmien vaihtohtois-kustannuksissa eroa vain järjestelmien energian saannon ja päästökauppakustannusten eron verran.

Sekajätteen rinnalla muiden yksittäisten jätelajien kustannusvaikutukset olivat alueen kokonaiskustannusten kannalta vähäisemmät. Biojätteen ja lietteen yhteiskäsittely osin maatilamädättämöissä, osin laitosmädättämössä muodosti noin 20 % järjestelmän kokonaiskustannuksista, biojätteen kompostoinnin ja jätevesilietteen kemiallisen käsittelyn kustannukset vastasivat 30 %:n osuutta. Nämä käsittelytavat synnyttivät myös merkittävimmät erot järjestelmien välillä: biojätteen mädätykseen perustuva järjestelmä oli yli 50 % kannattavampi kuin kompostointiin perustuva vaihtoehto, ja lietteen kemialliseen kunnostukseen perustuva järjestelmä taas puolestaan yli 60 % kalliimpi kuin lietteen mädätykseen perustuva vaihtoehto.

Teollisuuden tuottamille jätelajeille, kuiduille, puulle ja muoville, pätevät samat tulokset ja perustelut kuin muillakin alueilla: materiaalipainotteinen hyödyntäminen oli selkeästi kannattavampaa puu- ja muovijätteelle, kuitupakkausjätteen tapauksessa ero polttoratkaisuun oli mitätön.



Kuva 146. Pohjois-Pohjanmaan alueen (4) jätteiden jätehuoltovaihtoehtojen päästöt materiaali- ja energiapainotteisissa vaihtoehdoissa ja vaihtoehtojen yhteiskunnalliset nettokustannukset.

Johtopäätökset

POLKU-hankkeessa tarkasteltiin polttokelpoisten jätelajien kierrätys- ja energiakäyttövaihtoehtoja, joiden ympäristö- ja kustannusvaikutukset otettiin huomioon kokonaisvaltaisesti elinkaaripohjaisella tarkastelutavalla. Tutkimuksessa koottiin aluksi jäte- ja energiajärjestelmätietoa alueilta, joiden tarkoituksena oli edustaa jätehuollon erilaisia aluetyyppejä. Tavoitteena oli saada selkeä kuva suomalaisen jätehuollon erityispiirteistä. Alueellisiin lähtötietoihin perustuen jätelajeille laadittiin vaihtoehtoisia käsittelyketjuja ja niistä yhdistämällä laadittiin aluetyyppikohtaiset jätehuoltojärjestelmävaihtoehdot.

Jätelajikohtaisia järjestelmävaihtoehtoja laadittaessa harkittiin myös niiden toteuttavuutta käytännössä. Periaatteessa kaikki jäteperäinen materiaali on kierrätettävissä joko energiaksi tai uusioraaka-aineeksi materiaalikäyttöön, mutta yhdyskuntien energiantarve, jäteperäisten lopputuotteiden kysyntä ja eri hyötykäyttömenetelmien ympäristö- ja kustannusvaikutukset voivat rajoittaa kierrätyksen tarkoituksenmukaisuutta. Lisäksi kaikki jäte ei välttämättä laadullisesti sovellu rajoituksetta jätelajille kuvattuun hyötykäyttöön, vaan raaka-aineelta edellytetään puhtautta ja tasalaatuisuutta. Jätehuollon ja teollisuuden ja yhdyskuntien energiahuollon tarpeet eivät myöskään välttämättä kohtaa pitkällä aikavälillä järjestelmävaihtoehtoisissa kuvattulla tavalla. Kaikki edellä mainitut tekijät tulisi huomioida myös POLKU-hankkeen tuloksia sovellettaessa.

POLKU-hankkeen tulokset osoittivat, että polttokelpoisten jätelajien hyötykäyttö tuottaa lähes aina ympäristöhyötyjä, joista merkittävimmät liittyvät ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Se, onko hyötykäyttö parempi toteuttaa polttaen vai kierrättäen, riippuu tuotettavista energia- ja materiaalityönteistä ja ennen kaikkea siitä, minkälaisia tuotteita ne korvaavat.

Elinkaaristen ympäristövaikutusten näkökulmasta katsottuna parhaat vaihtoehdot eivät välttämättä osoittautuneet taloudellisesti edullisimmiksi toimintamalleiksi. Tulos ei sinänsä ole yllättävä – yleisesti tiedetään, että ympäristön laadun jatkuva parantaminen on mahdollista vain kasvattamalla myös kustannuksia.

Jätelajikohtaisten poltto- ja kierrätysjärjestelmien vertailussa lopulliset johtopäätökset vaihtoehtojen paremmuudesta vaihtelevatkin riippuen siitä, painotetaanko ympäristövaikutuksia vai kustannuksia. Jätteen loppusijoitus kaatopaikkaan oli elinkaaritarkastelussa ympäristön kannalta haitallisin vaihtoehto ja jätteiden kaatopaikkasijoittamiseen perustuvasta jätehuollosta tulisi jo lainsäädännönkin täyttymiseksi edetä jätteen materiaali- ja energiakäyttöä edistäviin ratkaisuihin. Tätä johtopäätöstä tukee myös elinkaarikustannusten tarkastelu: kaatopaikkasijoitus osoittautui myös kalleimmaksi vaihtoehdoksi. Ilmastonmuutokseen vaikuttavien päästöjen vähentämispotentiaalin ja taloudellisuuden todettiin korreloivan lisäksi etenkin biojätteiden sekä biojätteiden ja lietteiden yhteiskäsittelylle mallinnetuissa järjestelmissä. Sekajätteen ja teollisuuden hyötyjätelajien (kuitu-, puu- ja muovijakeiden) järjestelmävaihtoehtoisissa puolestaan ympäristö- ja kustannustarkastelun tulokset poikkesivat toisistaan eniten: ympäristövaikutusten tarkastelu olisi johtanut eri vaihtoehdon valintaan kuin kustannustarkastelu. Toisaalta elinkeinoperäisen eli hyvälaatuisen, polttoaineeksikin soveltuvan muovin materiaali- ja kierrätys erottui tuloksissa edukseen samanaikaisesti sekä ilmastovaikutustensa että yhteiskunnallisten kustannusvaikutustensa suhteen.

Monet tarkasteltujen järjestelmien osatekijöistä eivät ole jätehuollon ratkaisuin valittavissa tai vaikutettavissa, vaan ratkaisevassa asemassa ovat markkinoiden ja hintasuhteiden ohjaamat tuotantosektorin päätökset, lainsäädäntö ja muut ohjauskeinot. Hankkeen tärkeänä tavoitteena oli ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin keskeisesti vaikuttavien tekijöiden esiin nostaminen. Sekä ympäristö- että kustan-

nuusvaikutusten taustalta nousi esiin kaksi selkeästi merkittävintä tekijää: eniten eri jätelajien hyödyntämismavaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutuksiin vaikuttaa polttoratkaisujen energian saanto, eli hyötykäyttöön saadun energian osuus polttoaineen energiasisällöstä. Toiseksi eniten merkitystä tuloksiin on sillä, minkä polttoaineiden käyttöä jätteiden tuottamalla energialla voidaan välttää.

Hankkeen tuloksia voidaan, rajoituksistaan huolimatta, käyttää esimerkiksi alueellisen jätehuollon suunnittelun tukena. Lämmöntuotannon polttoaineet vaihtelevat alueellisesti, joten samalla myös vältettävissä olevat polttoaineet ovat erilaiset eri puolilla Suomea. Koska vältettävillä polttoaineilla oli merkittävä rooli sekä ympäristö- että kustannusvaikutusten tulosten kannalta, voidaan todeta että polttolaitoksen sijoituspaikalla on merkitystä. Sijainnin rinnalla keskeinen tekijä on polttolaitoksen energian saanto eli aidosti hyötykäyttöön päätyvän energian osuus, jonka ratkaisee alueen todellinen energian tarve. Molemmat tekijöistä olisi mahdollista huomioida nykyistä paremmin jo polttolaitoksia suunniteltaessa. Mahdollisimman hyvän polttolaitosverkoston rakentaminen edellyttääkin kaikkien alalla toimijoiden - sekä jätelaitosten, energiategollisuuden että viranomaisten - avointa ja tiivistä yhteistyötä.

Hankkeen tulosten perusteella voidaan antaa myös joitakin suosituksia jätehuollon ohjauskeinojen suuntaamiseksi. Selvää on, että niiltä osin, kuin markkinoilla vallitsevat suhteelliset hinnat ja muut kannustintekijät eivät tue polttokelpoisten materiaalien hyödyntämistä, toiminnan kannattavuutta tulee voimistaa soveliailla, hyödyntämistä tukevilla ohjauskeinoilla. Loppusijoitus kaatopaikalle on jo nyt yhteiskunnallisilta kokonaiskustannuksiltaan kallista, mutta samaan aikaan yksityiselle toimijalle halvinta. Kustannukset eivät siis käytännön tasolla ohjaa jätehuoltoa oikeaan suuntaan välttämään kaatopaikkasijoitusta, vaan ohjaavuus on lainsäädännön varassa. Sekajätteen seospoltto RDF:nä ja arinapoltto turvetta korvaten ovat kasvihuonekaasutaseeltaan edullisia, mutta kilpaileviin polttoaineisiin verrattuna energian tuotannon yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset ovat selvästi suuremmat. Niin sekajätteen kuin teollisuuden jätelajien tai sivuainevirtojen hyödyntämisen kannattavuutta edellä mainituilla menetelmillä saattaisi parantaa esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden hinnan nostaminen tai vastaavasti laitosten perustamiskustannusten pienentäminen.

Biojätteen mädättäminen on ympäristövaikutustensa näkökulmasta huomattavasti parempi vaihtoehto kuin pelkkä kompostointi. Myös kustannukset tukevat tätä järjestystä, mutta vain pienellä erolla mädätyksen hyväksi. Mädätyksen kustannuksia voisi alentaa esimerkiksi mädätyslaitosratkaisuja – etenkin pienen mittakaavan kokoluokan sellaisia – tukemalla, jolloin samalla tuettaisiin myös ympäristön kannalta toimivaa lietteiden ja biojätteiden yhteiskäsittelyä.

Hankkeessa saatuja jätelajikohtaisia tuloksia voidaan yleistää vain huomioimalla keskeiset rajoitukset, jotka osin vaihtelevat jätelajikohtaisesti. Yleistämistä heikentävää epävarmuutta liittyy käytettyyn prosessikohtaiseen tietoon, jätelajien laatuun ja jätteen alueelliseen koostumukseen. Vaikka hankkeessa koottiin mittava tietopohja Suomessa käytössä olevista jätehuollon ja energiantuotannon prosesseista, mallinuksessa käytetyt prosessit ovat esimerkkitapauksia. Kaikilla toimintaparametreilla on vaihteluvälinsä, joita ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa kyetty huomioimaan. Lisäksi jätelajien laatuominaisuudet ratkaisevat todellisen soveltuvuuden suunniteltuun hyötykäyttöprosessiin; esimerkiksi muovin kierrätys materiaaliseksi tuotteeksi tuotti suoritetuissa tarkasteluissa merkittävästi sekä ympäristö- että kustannushyötyjä, mutta käytännössä saatavissa oleva muovijäte saattaa olla sekalaista ja vaatia lajittelua tai muuta esikäsitteilyä, tai osoittautua soveltuvaksi vain poltettavaksi. Kolmas epävarmuustekijä, yhdyskuntajätelajien koostumus ja ominaisuudet, vaihtelee alueellisesti muun muassa elinkeinorakenteesta ja valituista syntypaikkalajitteluratkaisuista riippuen, mutta jätetilastointi nykyisellään on riittämätön tuottamaan alueellisesti edustavaa tietoaineistoa.

Yleisesti jätehuoltoa ja materiaalivirtoja koskevan tiedon laadun parantamiseksi ja edellä mainittujen epävarmuuksien arvioimiseksi hankkeen projektiryhmä tunnisti jatkotutkimustarpeita useista eri teemoista. Alueellinen tarkastelu osoitti, että jätelajista riippuen kuljetusten osuus tuloksissa on joko varsin suuri tai hyvin pieni riippuen muun muassa siitä, arvioidaanko ympäristö- vai kustannusvaikutuksia. Erityisesti jätteiden kuljetusten kustannuksista ei Suomessa ole tarjolla systemaattista tarkastelua ja etenkin alueellista tietopohjaa. Tiedon tuottaminen yhdyskuntajätteen alueellisesta koostumuksesta olisi myös jatkossa tarpeen erilaisten laitosratkaisujen suunnittelun pohjaksi ja laitosten toimivuuden varmistamiseksi.

KIRJALLISUUS

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo.
- Arffman, M., Aatamila, M.-L., Tervo, J., Janka, P. ja Kymäläinen, J. 2003. Kierrätyspolttoaineiden energia-
käytön järjestäminen Pohjois-Savossa. KELPO2-hankkeen loppuraportti. Pohjois-Savon Ammattikor-
keakoulu. Kuopio.
- Auvinen, J. 2008a. Keräyskartongin hyötykäyttö. Stora Enso Oy, Corenso, Varkaus. Kirjallinen tiedonan-
to 31.1.2008.
- Auvinen, J. 2008b. Hylsykartongin valmistus puusta. Stora Enso Oy, Corenso, Varkaus. Kirjallinen
tiedonanto 19.8.2008.
- Bickel, P. and Friedrich, R. (eds.). 2005. ExternE: Externalities of Energy: Methodology 2005 Update.
Luxembourg. Saatavissa: http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina_en.pdf
- Björklund, A. 2000. Environmental System Analysis of Waste Management: Experiences from Applica-
tions of the ORWARE Model. Department of Chemical Engineering and Technology. KTH, Stock-
holm. Doctoral thesis.
- CRC 1983. Handbook of Chemistry and Physics. 64th edition. 1983-1984. Weast, R. C. (ed). CRC Press.
Boca Raton, Florida.
- Dahlbo, H., Laukka, J., Myllymaa, T., Koskela, S., Tenhunen, J., Seppälä, J., Jouttijärvi, T. ja Melanen, M.
2005. Waste management options for discarded newspaper in the Helsinki Metropolitan Area. The
Finnish Environment 752. Helsinki.
- EASEWASTE 2007. Life cycle assessment modeling of solid waste systems. EASEWASTE modeling
software. Landfill data from 6/2007.
- Ekholm, E., Korkala, R. ja Nummela, E. 2005. REF-laitosten tarve- ja toimivuusselvitys. Jätelaitosyhdis-
tys ry. Helsinki.
- Environment Agency 2006. Description of WRATE (Waste and Resources Assessment Tool for the Envi-
ronment). Saatavissa: <http://www.environment-agency.gov.uk/wtd/1396237/>
- ENVIMAT 2008. Ympäristövaikutusten arviointi. Suomen kansantalouden materiaalityyryt ja niiden
ympäristövaikutukset –hanke. Julkaisematon aineisto. Suomen ympäristökeskus. [www.ymparisto.
fi/syke/envimat](http://www.ymparisto.fi/syke/envimat)
- EU 2008. EU:n ehdotus Energia- ja ilmestopaketiksi 23.1.2008.
http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/draft_proposal_effort_sharing.pdf
- Eunomia Research & Consulting 2002. Economic analysis for options for managing biodegradable
municipal waste. Final report to the European commission. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/envi-
ronment/waste/compost/pdf/econanalysis_finalreport.pdf](http://ec.europa.eu/envi-
ronment/waste/compost/pdf/econanalysis_finalreport.pdf)
- Heatco 2007. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Asses-
ment, Annex D. Saatavilla osoitteessa: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>
- Hakkarainen, H. 2006. Jätteen energiahyödyntämistä ja jätteenpoltoasetuksen vaikutuksia käsittelevän
lopputyön julkaisemattomat, kirjalliset erillisselvitykset. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
- Heaton, C. A. 1984. An Introduction to Industrial Chemistry. Leonard Hill 1986. Glasgow.
- Jaakko Pöyry Consulting 2005. Suomen metsäteollisuuden tulevaisuudennäkymät ja niiden vai-
kutukset puuntuotantostrategioihin. Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätaloustuottajain
Keskusliitto MTK r.y. Metsäteollisuus r.y. Vantaa. Saatavissa: [http://www.wb.mmm.fi/julkaisut/
metsatalous/310505raportti.pdf](http://www.wb.mmm.fi/julkaisut/
metsatalous/310505raportti.pdf)
- Janatuinen, A. 2007. Metsäteollisuus ry. Suullinen tiedonanto 16.5.2007.
- Jokinen M. 2004. Sekapolttoaineet Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa ja energiatilastoinnissa.
Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan ja ympäristönsuojelun osasto. Espoo.
- Kapuinen, P. ja Rantanen, R. 2008. Puhdistamolietteen hyödyntäminen Vakka-Suomessa ja Turunmaalla.
Julkaisematon raportti 1.2.2008.
- Kuittinen, V., Huttunen, M.J. ja Leinonen, S. 2006. Suomen biokaasulaitosrekisteri IX: Tiedot vuodelta
2005. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitoksen raportteja N:o 3/2006. Joensuu.
- Koskinen, J. 2006. Jätteen rinnakkaispolton rooli ja rajaehdot Suomen jätestrategiassa. Valtakunnallinen
jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa I. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2006.
Helsinki.
- Lankoski, J., Lichtenberg, E. & Ollikainen, M. 2008. Point/Nonpoint Effluent Trading with Spatial Hete-
rogeneity. American Journal of Agricultural Economics, forthcoming.
- Lähteenmaa, T. 2007. Jita Oy. Suullinen tiedonanto 24.1.2007.
- Manfredi, S. and Christensen, T. H. 2008. Environmental assessment of solid waste landfilling technolo-
gies by means of LCA-modeling. Waste Management, 2008 Apr 27.
- Myllymaa, T., Dahlbo, H., Ollikainen, M., Peltola, S. ja Melanen, M. 2005. Menettely jätehuoltovaihtoeht-
tojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun. Suomen ympäristö 750. Helsinki.
- Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. ja Tenhunen, J. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämises-
sä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa III.
Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. Helsinki.
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. ja Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätys-
sen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti. Suomen
ympäristökeskuksen raportteja ?/2008. Helsinki
- Mäenpää, I. 2006. Thule-instituutti. FINWASTE-hankkeessa tuotetut jätevirtataulukot toimialoittain ja
jäteluokittain vuonna 2003. Kirjallinen tiedonanto 23.9.2006.

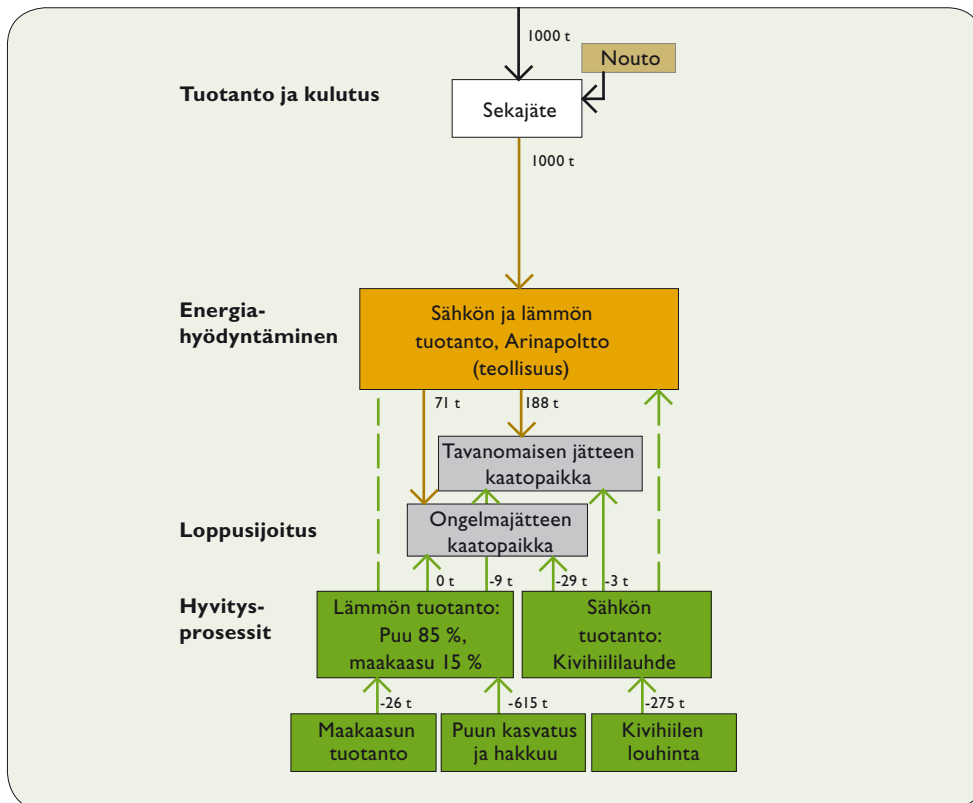
- Mäkelä, K. 2002. Yksikköpäästötietokanta (VTT Liisa). Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloautobensiini.htm>
- Mäntylä, E. 2006. Vapo Biotech Oy. Kompostin käyttö pohjavesien suojelussa ja eroosion ehkäisyssä. Suullinen esitys SYKEssä 30.3.2006.
- Naturvårdsverket 2005. Survey of sources of unintentionally produced substances. A report to the Swedish Government, 31 March 2005. Report 5503.
- Nottrodt, A, Düwel, U. & Ballschmiter, K. 1990. The influence of increased excess air on the formation of PCDD/PCDF in a municipal waste incineration plant. *Chemosphere* 20: 1847-1854.
- Nuutila, M. 2008. Energiategollisuus ry. Suullinen tiedonanto 3.4.2008.
- Petäjä, J. 2008. Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 24.6.2008.
- Savola, H. 2006. Kirjallinen ennakkotieto Hanna Savolan Pohjois-Karjalan ympäristökeskukseen tekemän pro-gradutyön jättemääräselvityksestä.
- Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M. ja Melanen, M. 2000. Metallien jalostus ja ympäristö. Suomen ympäristö 438. Helsinki.
- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K. ja Storhammar, E. 2001. Kirjoloheen tuotanto ja ympäristö. Suomen ympäristö 529. Helsinki.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Bernsten, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. ja Wratt, D. 2007. Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. Pages 19-91.
- Stora Enso 2007. Stora Enso annual report. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/CDAvgn/showDocument/0,4613,00.pdf>.
- Nordic Council of Ministers 2007. Nordic guideline for cost-benefit analysis in waste management. TemaNord 2007:574. Saatavissa: <http://norden.org/pub/miljo/ekonomi/sk/TN2007574.pdf>
- Tilastokeskus 2005. Polttoaineluokitus. Saatavissa: <http://www.stat.fi/tup/khkinv/polttoaineluokitus.html>
- Tilastokeskus 2006b. Yhdyskuntajätteet vuonna 2004. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/jate/2004/jate_2004_2005-12-13_tau_001.html
- Tilastokeskus 2008a. Jätteiden käsittely vuonna 2006. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2006/jate_2006_2008-06-04_tau_001.html
- Tilastokeskus 2008b. Vuoden 2008 virallinen päästöinventaario ilmastopimukselle. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2006/khki_2006_2008-04-18_tie_001_fi.html.
- Tilastokeskus 2008c. Metaanipäästöt Suomessa (1000 t) muuttujina päästöluokka ja vuosi. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2006/khki_2006_2008-04-18_tau_003_fi.html.
- Turunen, T., Sallmén, M., Meski, S., Ritvanen, U. ja Partanen E. 2008. Oulun läänin alueellinen jätesuunnitelma. Jätehuollon kehittämisohjelma vuosille 2008 – 2018. Suomen ympäristö 8/2008.
- Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003).
- Vn 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtioneuvoston 10.4.2008 hyväksymä valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=275289&lan=FI>
- Yara 2008. Lannoitteiden käyttötiedotteet. Saatavissa: www.yara.fi > Tuotteet > Peltoviljelylannoitteet.
- YTV Jätehuolto 2005. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu. Julkaisematon raportti.
- YTV Jätehuolto 2007. Kirjallinen kooste Martti-järjestelmän jättemäärätiedoista.
- Zevehoven, M. and Hupa, M. 2008. The Environmental Impact and Cost Efficiency of Combustible Waste Utilisation: The Potential and Difficulties of Ongoing Technology Developments. REPORT 08-05. Åbo Akademi Process Chemistry Centre, Inorganic Chemistry. Turku.
- Öhman, J. 2007. Preseco Oy. Mass and heat balance. Kuvitteellisen mädättämön mitoitus ja massavirtoja koskeva kirjallinen tiedonanto 24.5.2007.

LIITTEET

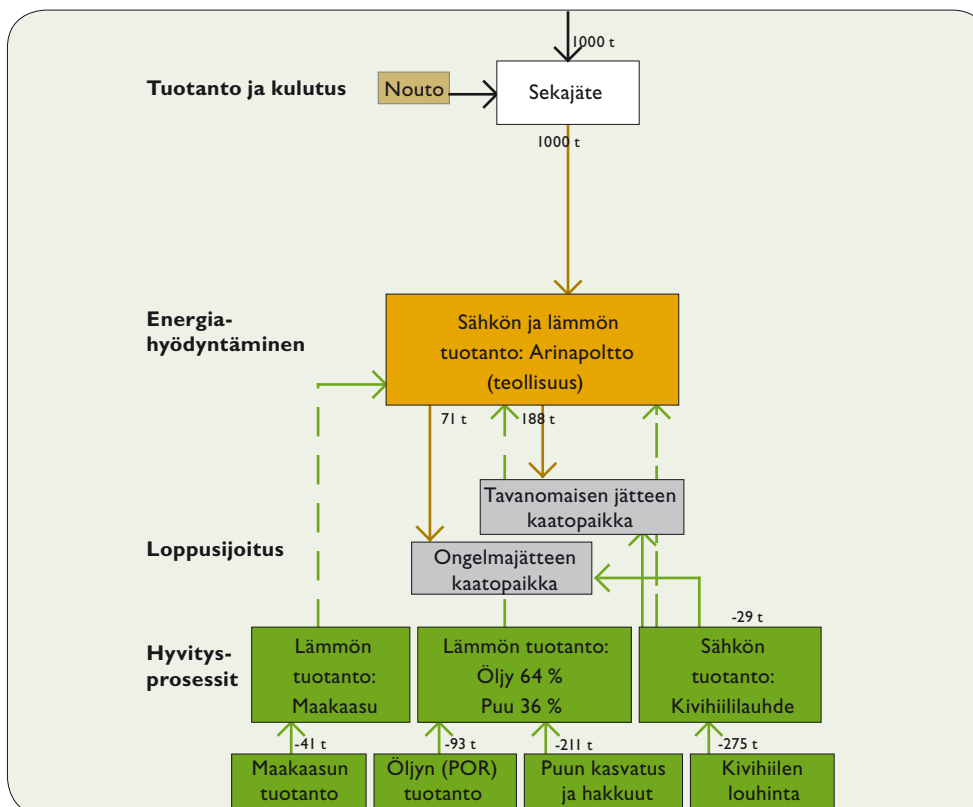
LIITE I. Karakterisointikertoimet

Karakterisointikertoimet (EN/IMAT 2008)	Ilmastomuutos	Ozonikerroksen oheneminen	Happamoitu- minen	Vesien rehevöity- minen	Maaperän rehevöity- minen	Otsonin terveys- vaikutukset	Kasvilli-suuden otsonivauriot	Ekotoksisuus, vesistöt	Ekotoksisuus, maaperä	Myrkyllisyys ihmiselle	Hiukkaset
Päästöt ilmaan	kg CO ₂ -eq/kg	kg (CFC-11 ekv)/kg	kg SO ₂ -eq/kg	kg PO ₄ -eq/kg	kg keq/kg	pers*ppm*hours	m2*ppm*hours	kg l,4-DCB- eq/kg	kg l,4-DCB- eq/kg	kg l,4-DCB- eq/kg	yr/kg
CO ₂ -bio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂ -fos	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CH ₄	25	-	-	0,034	-	0,034	0,33	-	-	-	-
N ₂ O	298	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F-kaasut	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₂	-	-	0,47	-	-	-	-	-	-	-	0,000013
NO _x	-	-	0,17	0,015	1,4	0,00051	0,35	-	-	-	0,000013
NH ₃	-	-	0,49	0,038	9,5	-	-	-	-	-	0,000020
NMVOG	-	-	-	-	-	0,00031	0,27	-	-	-	-
CO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,11	0,11	82
Cd	-	-	-	-	-	-	-	0,10	4,2	4,2	254
Co	-	-	-	-	-	-	-	1,9	7,9	7,9	204
Cr	-	-	-	-	-	-	-	0,00014	0,050	0,050	0,0090
Cu	-	-	-	-	-	-	-	0,12	5,4	5,4	0,07
Hg	-	-	-	-	-	-	-	1,22	20	20	164
Ni	-	-	-	-	-	-	-	0,93	1,9	1,9	1,9
Pb	-	-	-	-	-	-	-	0,00017	0,0051	0,0051	229
V	-	-	-	-	-	-	-	0,016	6,0	6,0	134
Zn	-	-	-	-	-	-	-	0,062	1,0	1,0	0,73
PAH	-	-	-	-	-	-	-	0,024	0,1	0,1	2,8
PCDD, PCDF	-	-	-	-	-	-	-	139	45	45	24 185 946
TSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000029
PM2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ODP- kaasut	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

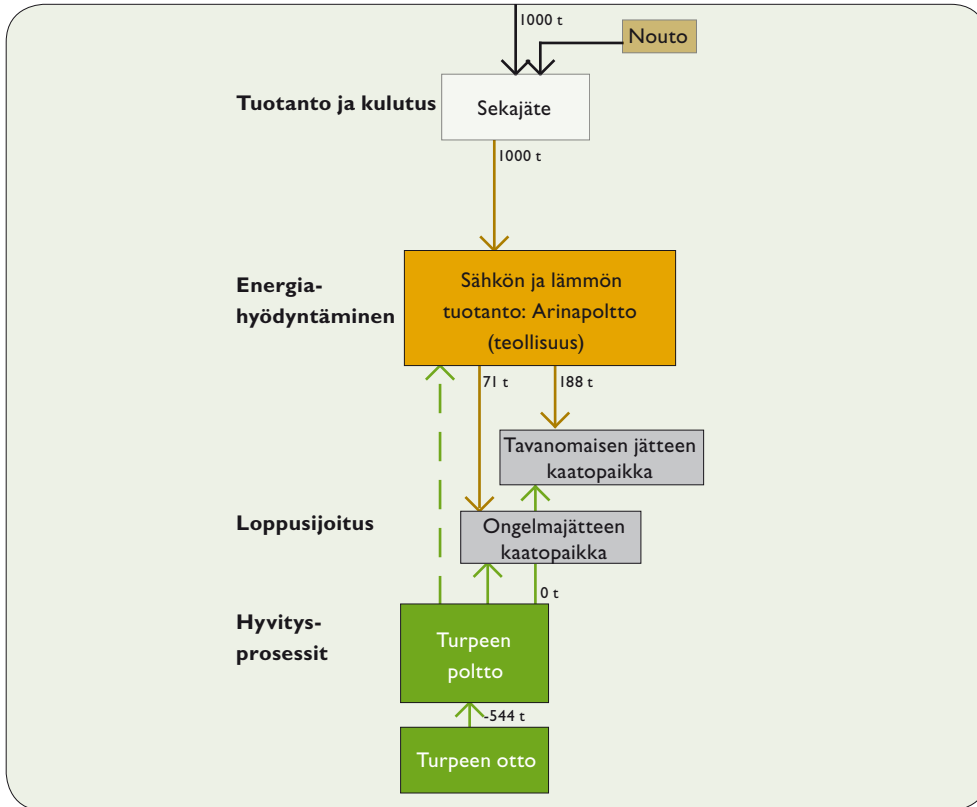
LIITE 2. Jätelajikohtaiset käsittelyketjut virtauskaaviona



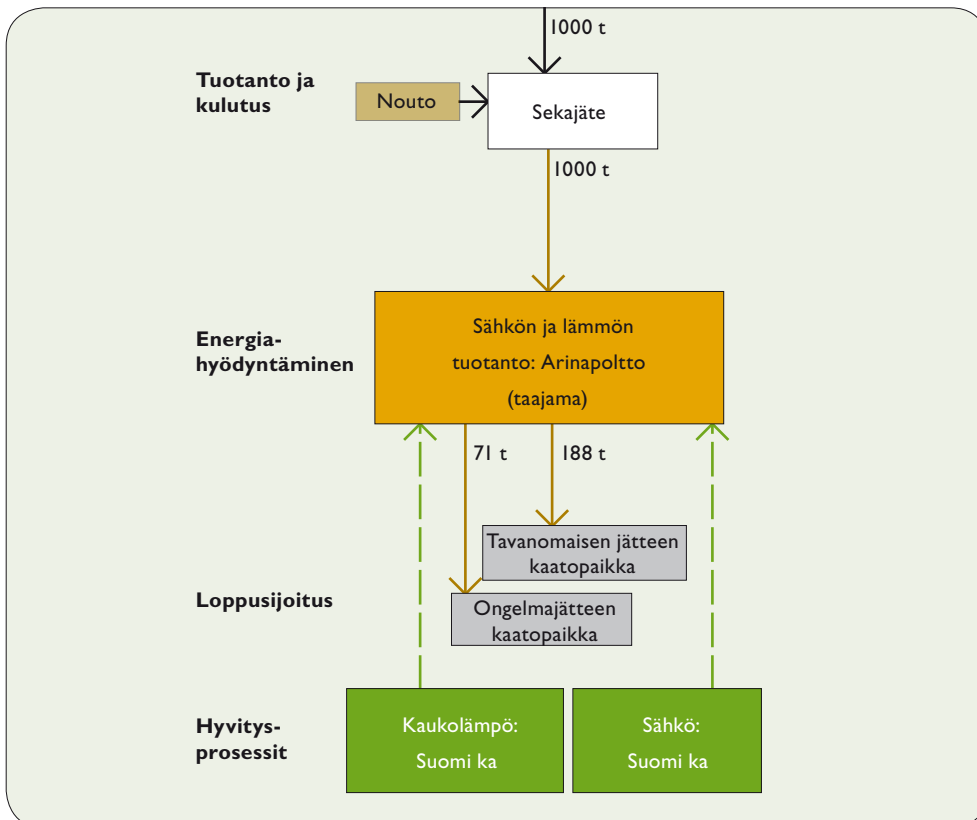
Kuva 1. Sekajätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa ja puun, maakaasun ja kivihiili-lauhteen korvaaminen sekajätteen poltolla tuotetulla energialla (Sj 1)



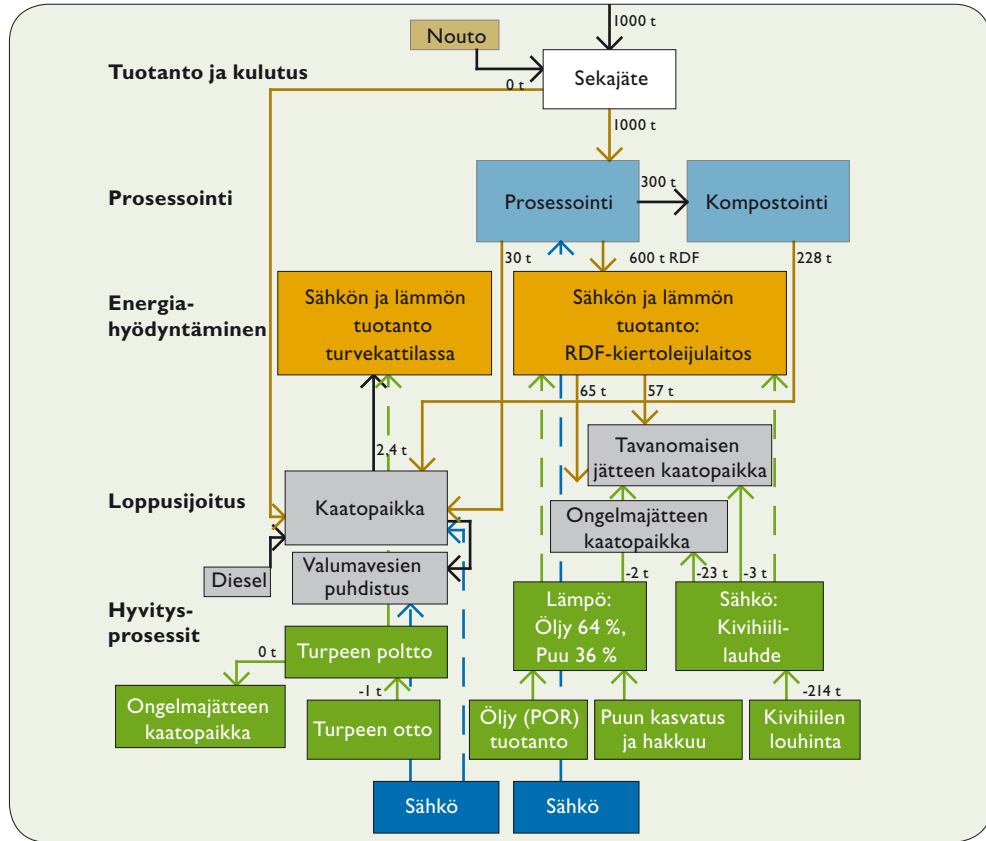
Kuva 2. Sekajätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa ja öljyn, puun, maakaasun ja kivihiililauhteen korvaaminen sekajätteen poltolla tuotetulla energialla (Sj 2)



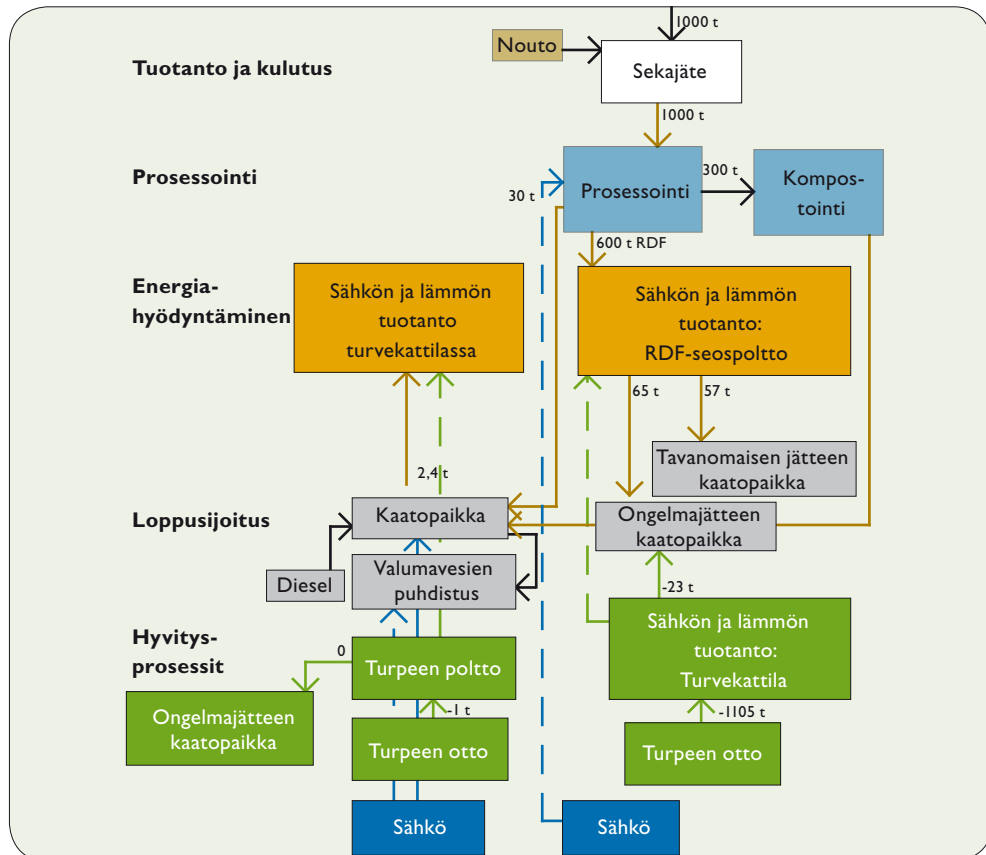
Kuva 3. Sekajätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa, jonka tuottama energia korvaa turpeen poltolla tuotettua energiaa (Sj 3)



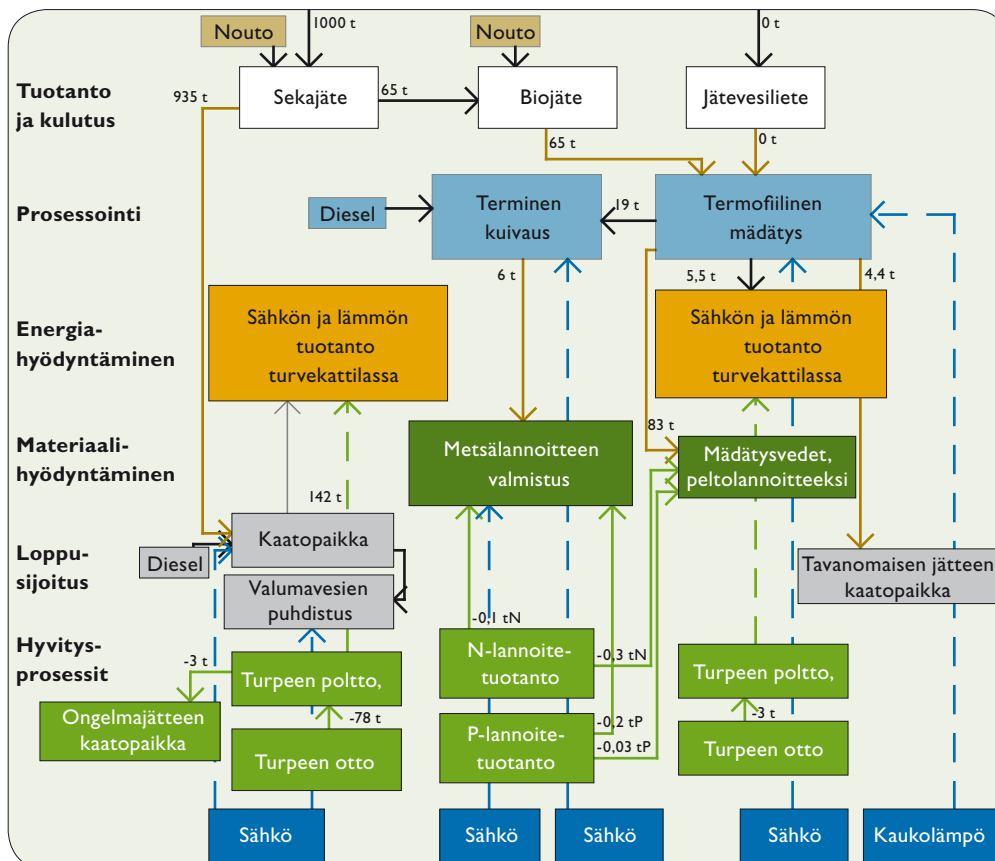
Kuva 4. Sekajätteen arinapoltto infraltaan valmiiseen taajamaan sijoitetussa laitoksessa, jonka tuottama energia korvaa Suomen keskimääräistä sähkön ja lämmön tuotantoa (Sj 4).



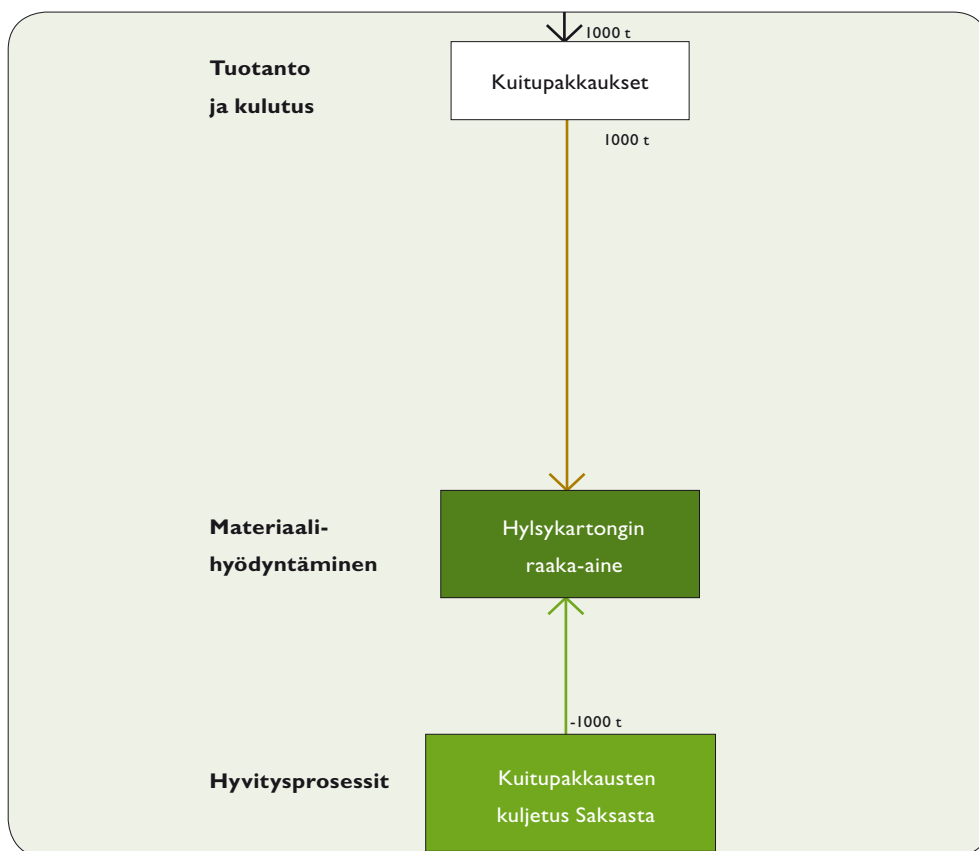
Kuva 5. Sekajätteen prosessointi kierrätyspolttoaineeksi ja poltto jätteenpolttolaitoksessa, jonka tuottama energia korvaa öljyä, puuta ja kivihiiltä (Sj 5).



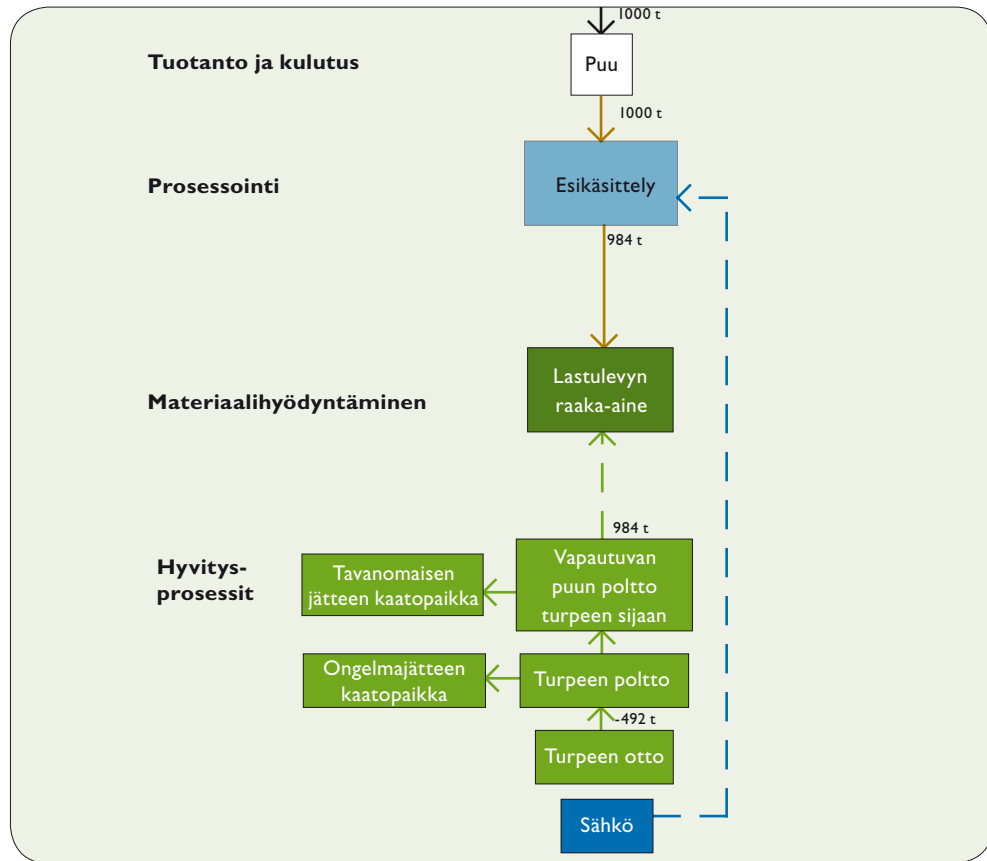
Kuva 6. Sekajätteen prosessointi kierrätyspolttoaineeksi ja seospoltto turvekattilassa turpeen sijaan (Sj 6).



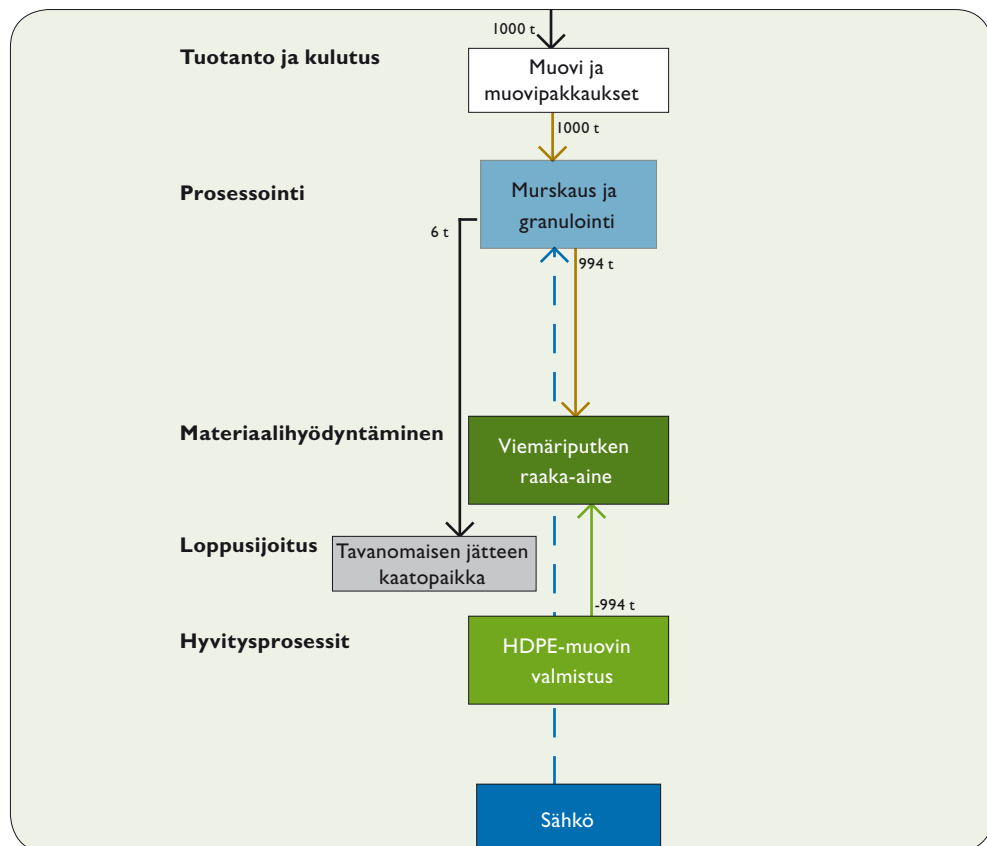
Kuva 7. Sekajätteen sijoittaminen kaatoaikalle tehostetun biojätteen erilliskeräyksen jälkeen. Kaatoaikalta talteen otettu ja biojätteen mädätyksessä syntyvä kaasu korvaavat turpeen polttoa (Sj 7).



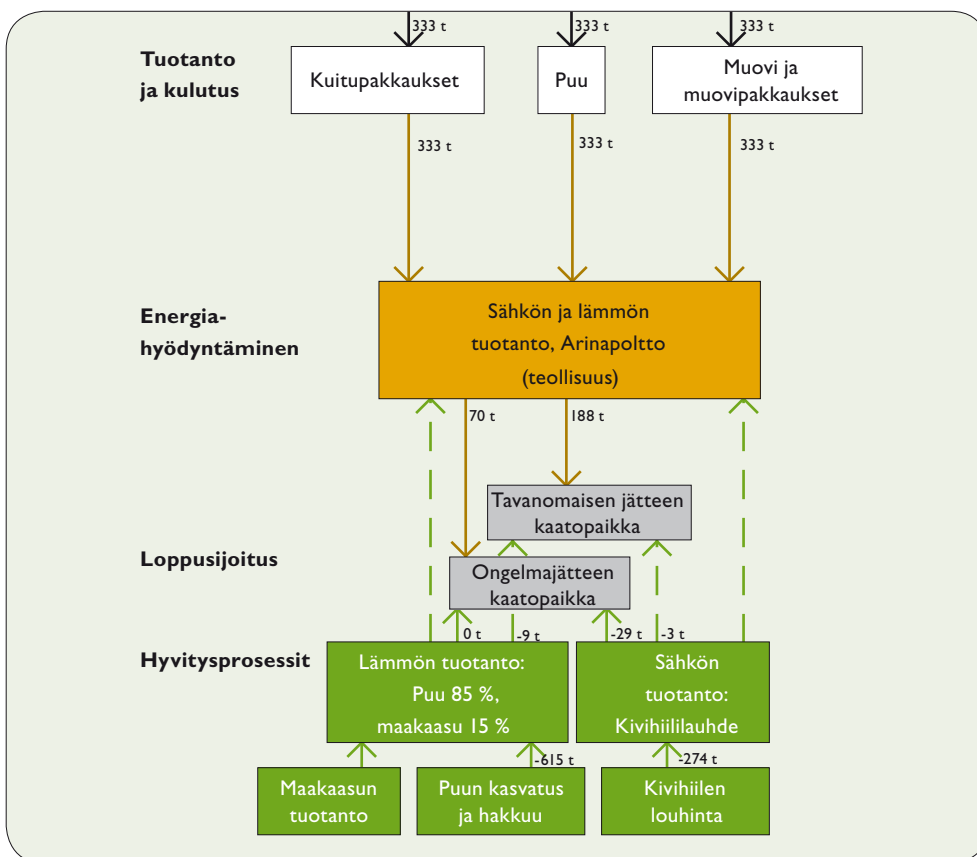
Kuva 8. Kuitupakkausten käyttö hylykartongin raaka-aineena Saksasta laivarahtina tuodun kuitupakkausjätteen sijaan.



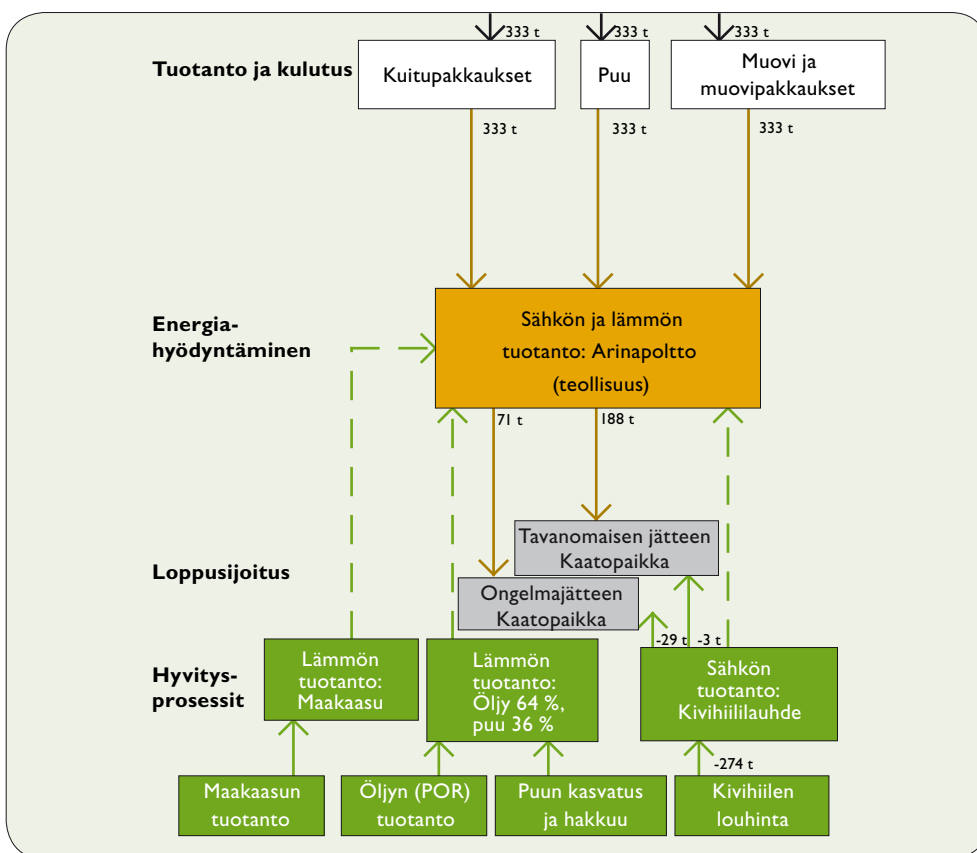
Kuva 9. Jätepuun käyttö lastulevyn raaka-aineena siten, että toisaalla vapautuu puuta poltettavaksi jätepuun sijaan.



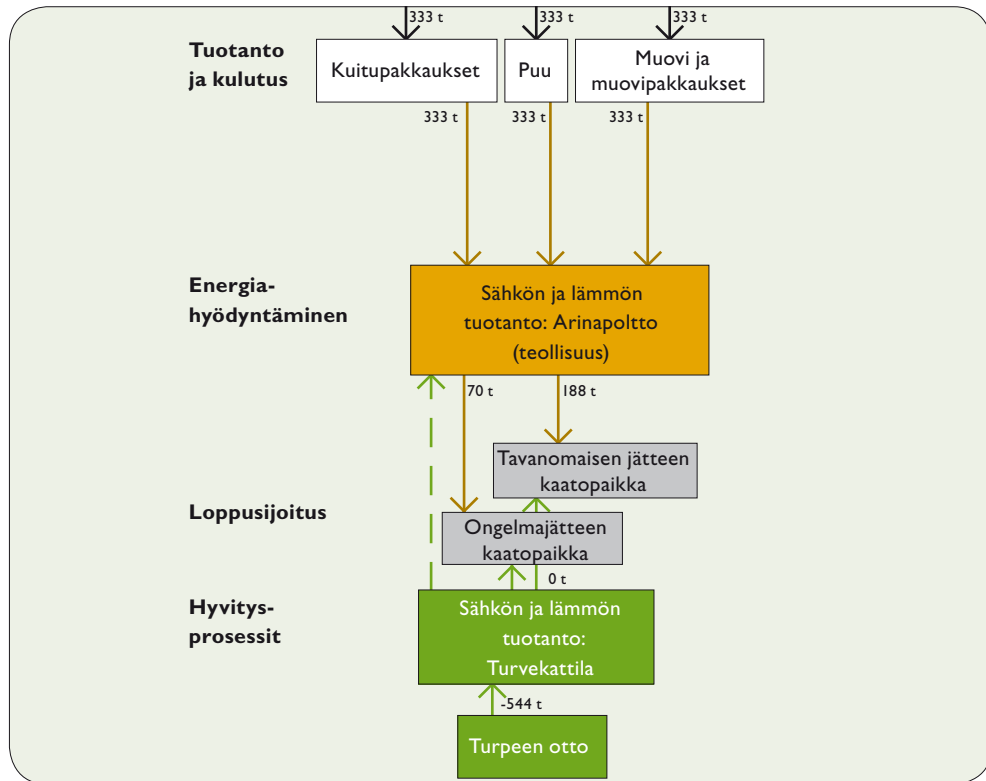
Kuva 10. Jätemuovin käyttö muovituotteen raaka-aineena ensimuovin sijaan.



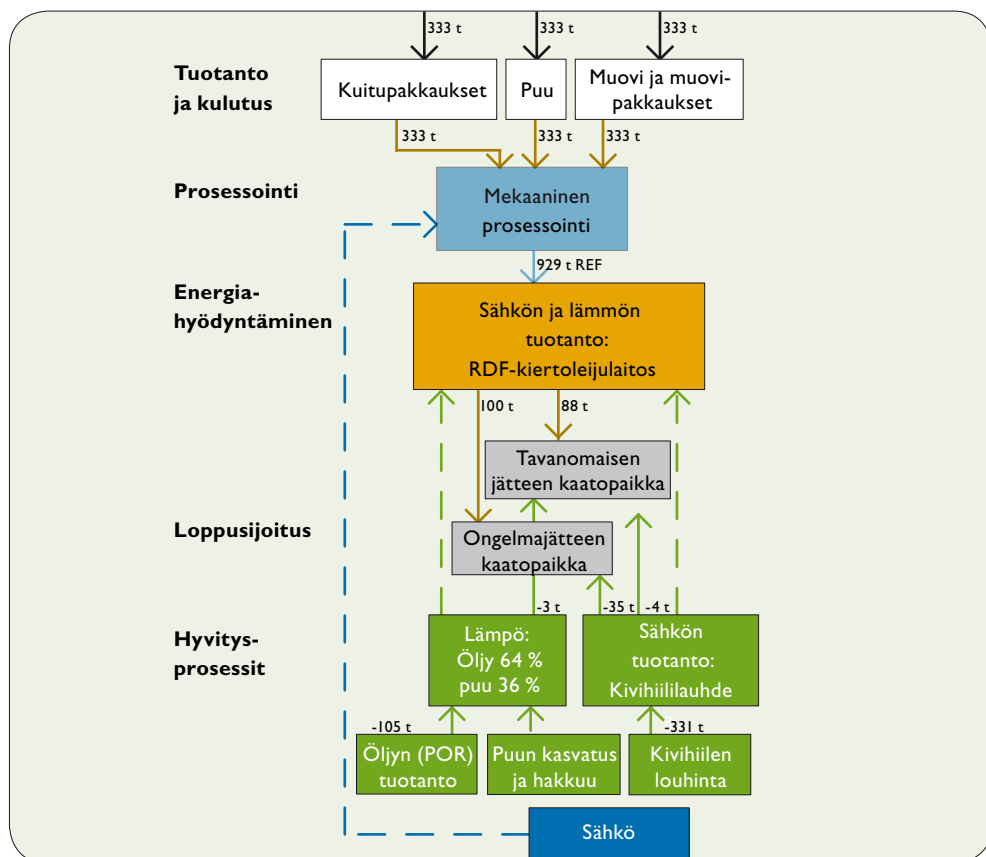
Kuva 11. Kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa, jonka tuottama energia korvaa puun, maakaasun ja kivihiililauhteen käyttöä (Kp 1)



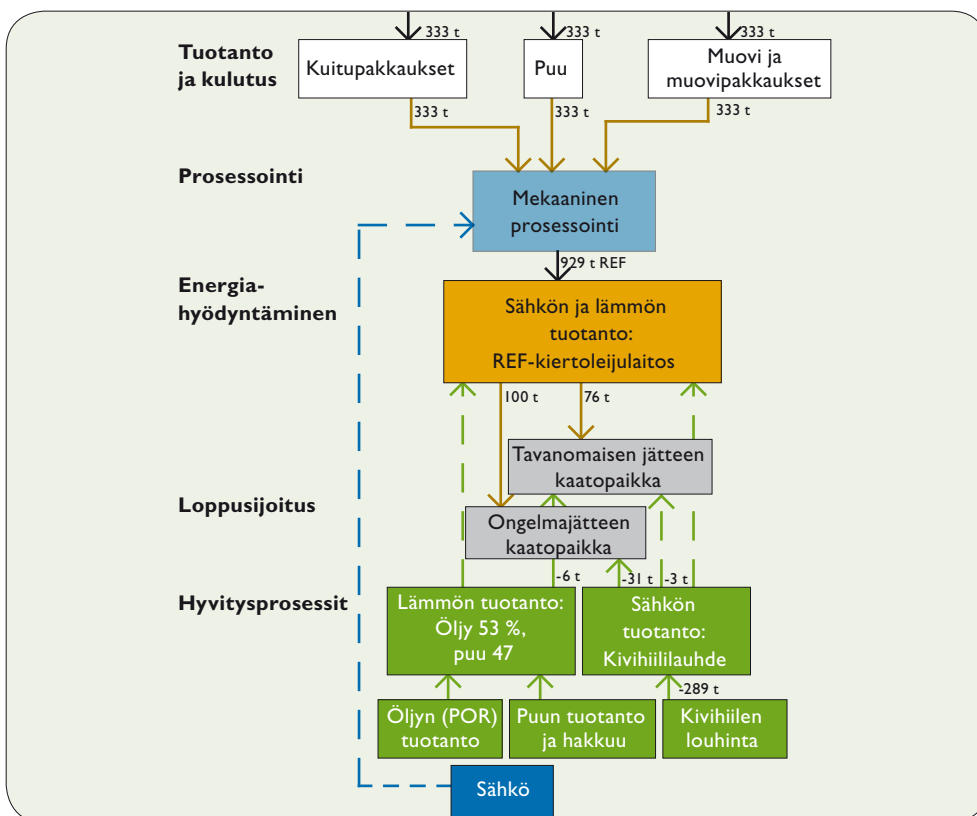
Kuva 12. Kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa, jonka energialla korvataan öljyn, puun, maakaasun ja kivihiililauhteen käyttöä (Kp 2).



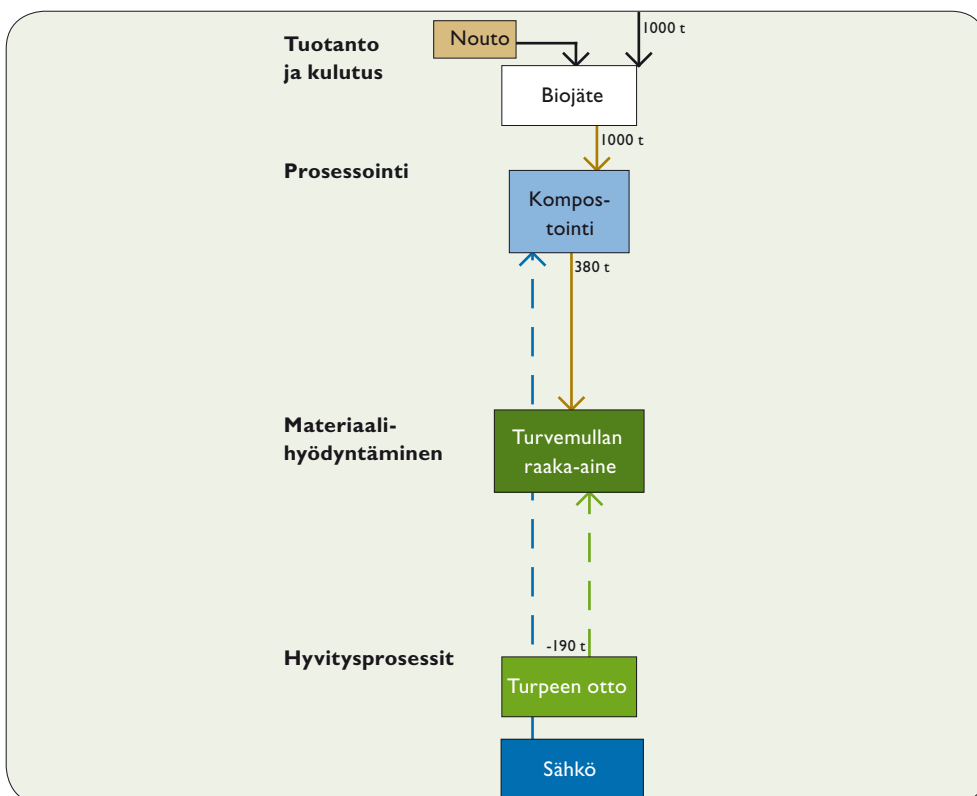
Kuva 13. Kuitu-, puu- ja muovijätteen arinapoltto teollisuuslaitoksen yhteyteen sijoitetussa laitoksessa, jonka tuottama energia korvaa turpeen polttoa (Kp 3).



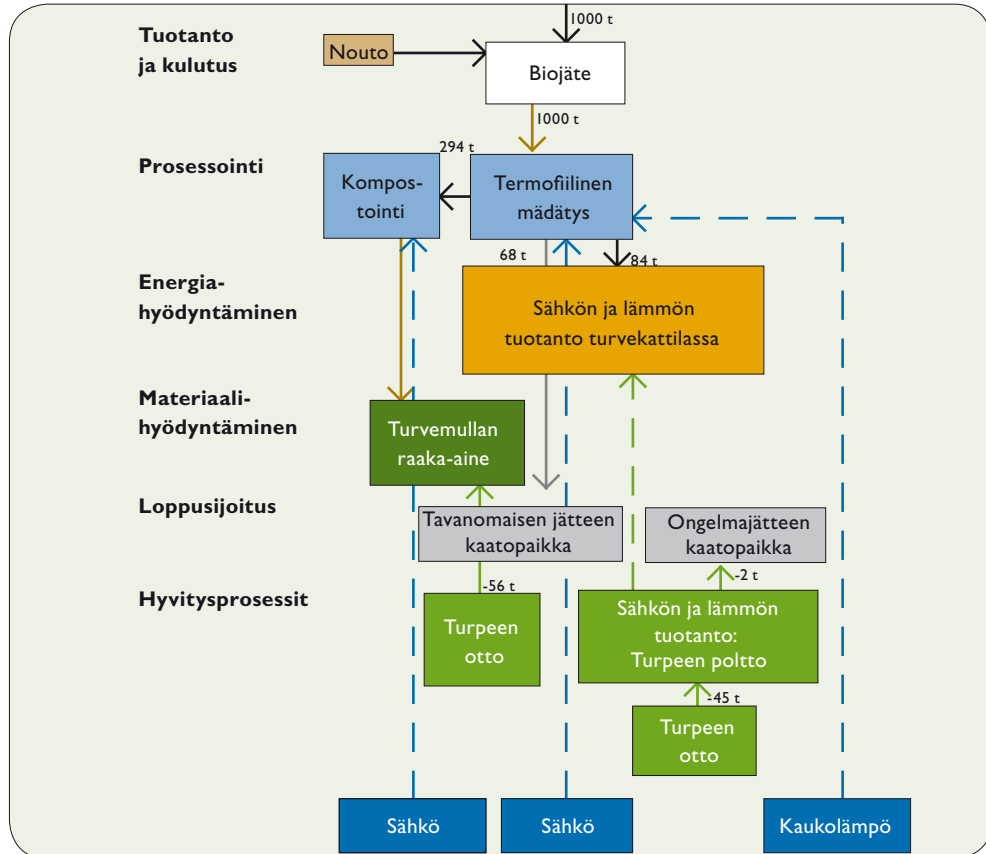
Kuva 14. Kuitu-, puu- ja muovijätteen poltto RDF:n polttoon suunnitellussa laitoksessa, jonka tuottama lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiililauhdetta (Kp 4).



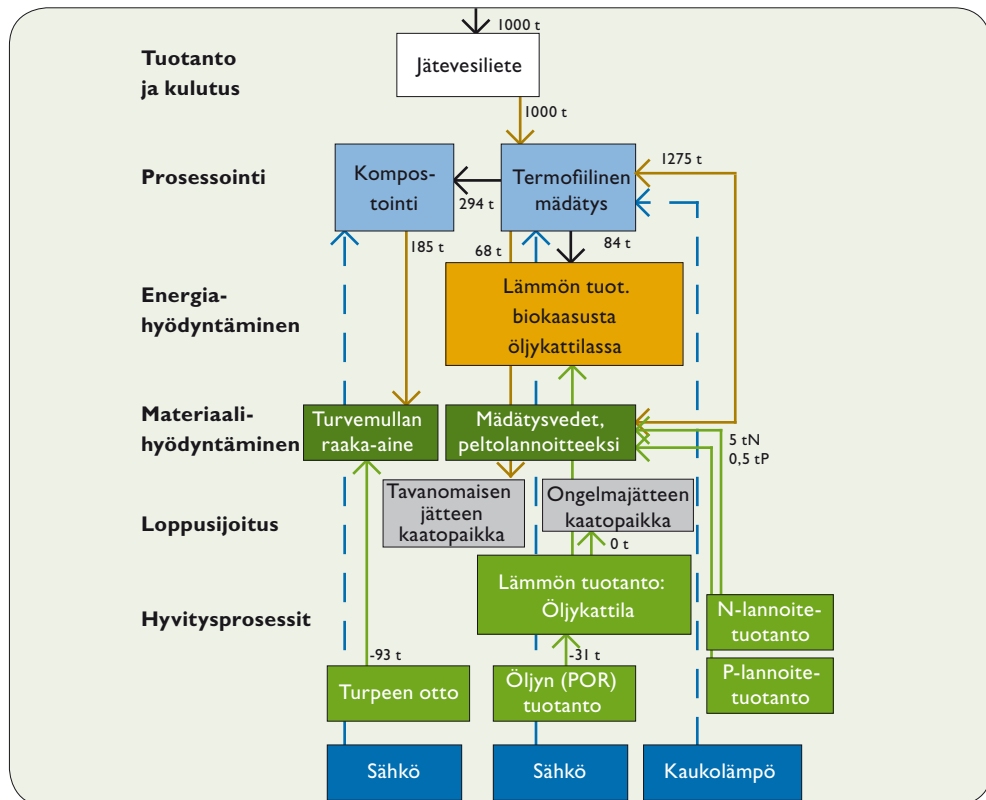
Kuva 15. Kuitu-, puu- ja muovijätteen poltto REF:n polttoon suunnitellussa laitoksessa, jonka tuottama lämpöenergia korvaa öljyä ja puuta ja sähkö kivihiililauhdetta (Kp 5).



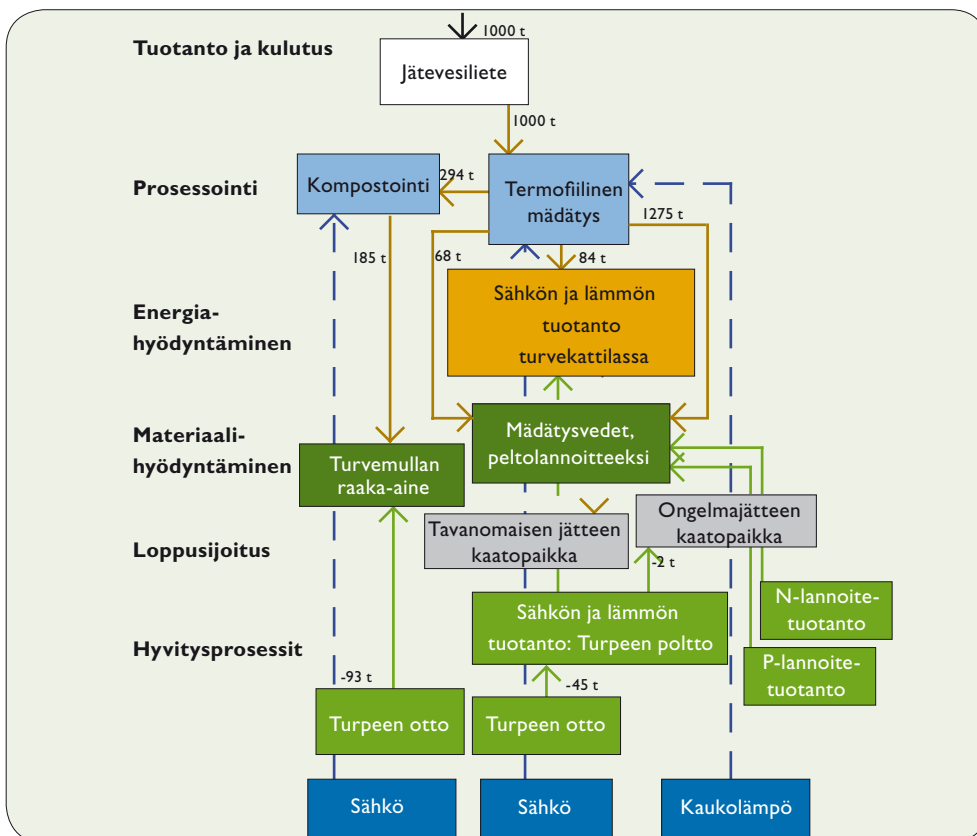
Kuva 16. Biojätteen kompostointi ja kompostin käyttö viherrakentamisessa kasvualustan raaka-aineena turpeen sijaan (Bj 1).



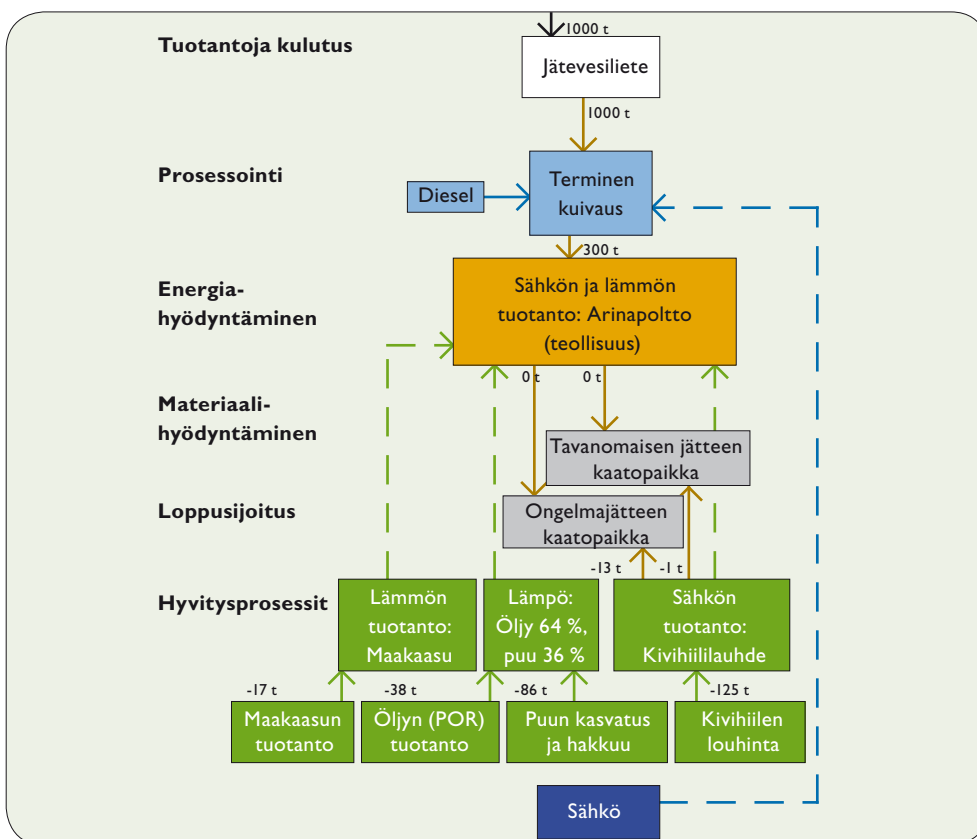
Kuva 17. Biojätteen mädätys, mädätteen kompostointi, biokaasun poltto turvekattilassa turpeen sijaan ja kompostoidun mädätteen käyttö viherrakentamisessa turpeen sijaan (Bj 2).



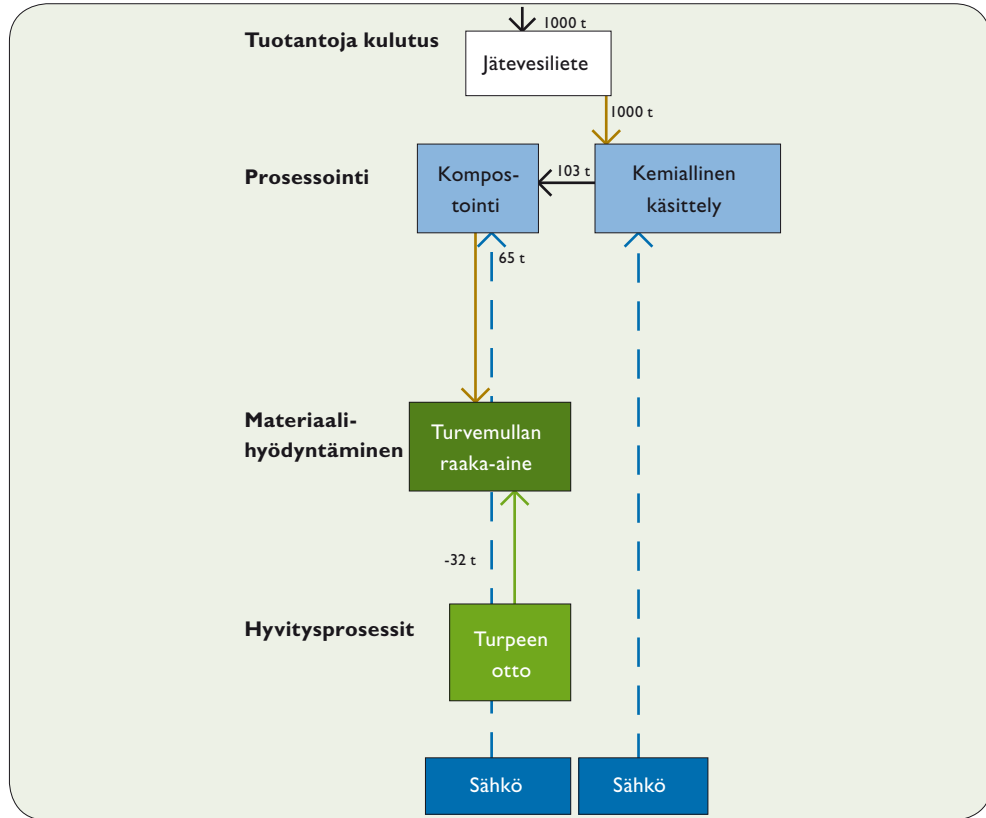
Kuva 18. Jätevesilietteen mädätys, mädätteen kompostointi, biokaasun poltto öljykattilassa öljyn sijaan, kompostoidun mädätteen käyttö viherrakentamisessa turpeen sijaan ja mädätyksen rejekti-vesien käyttö peltoravinteena lannoitteiden sijaan (L I).



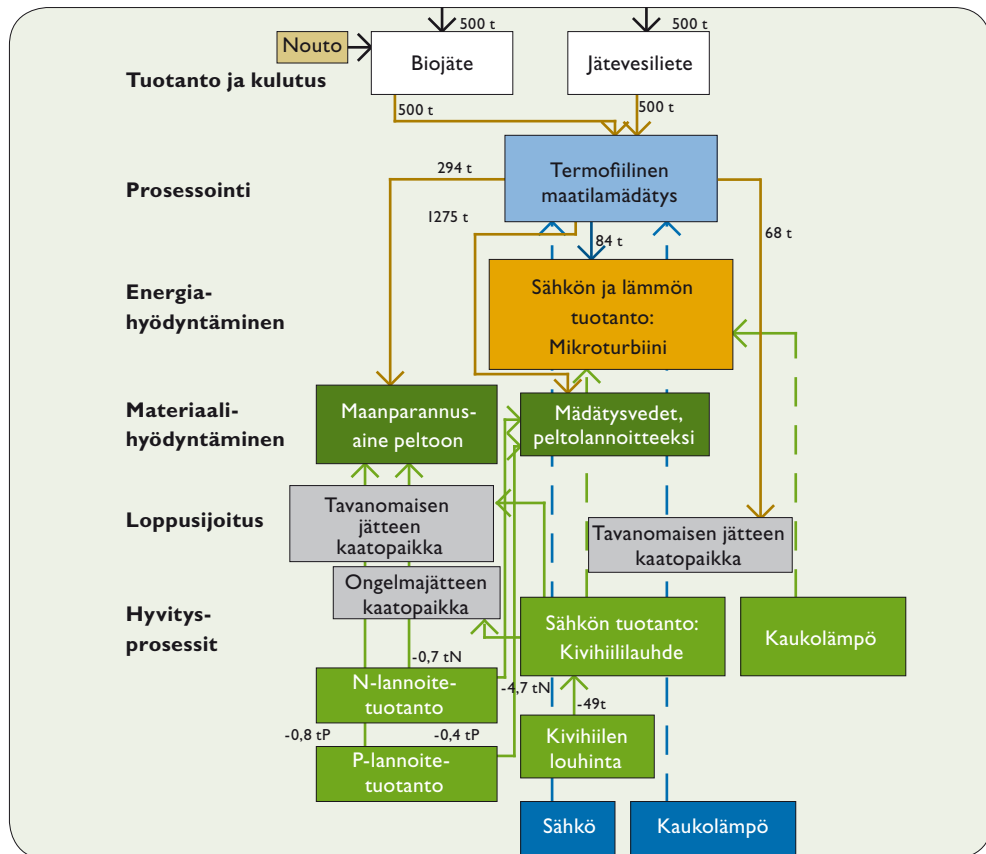
Kuva 19. Jätevesilietteen mädätys, mädätteen kompostointi, biokaasun poltto tuvekattilassa turpeen sijaan, kompostoidun mädätteen käyttö viherrakentamisessa turpeen sijaan ja rejektivesien käyttö peltoravinteena lannoitteiden sijaan (L 2).



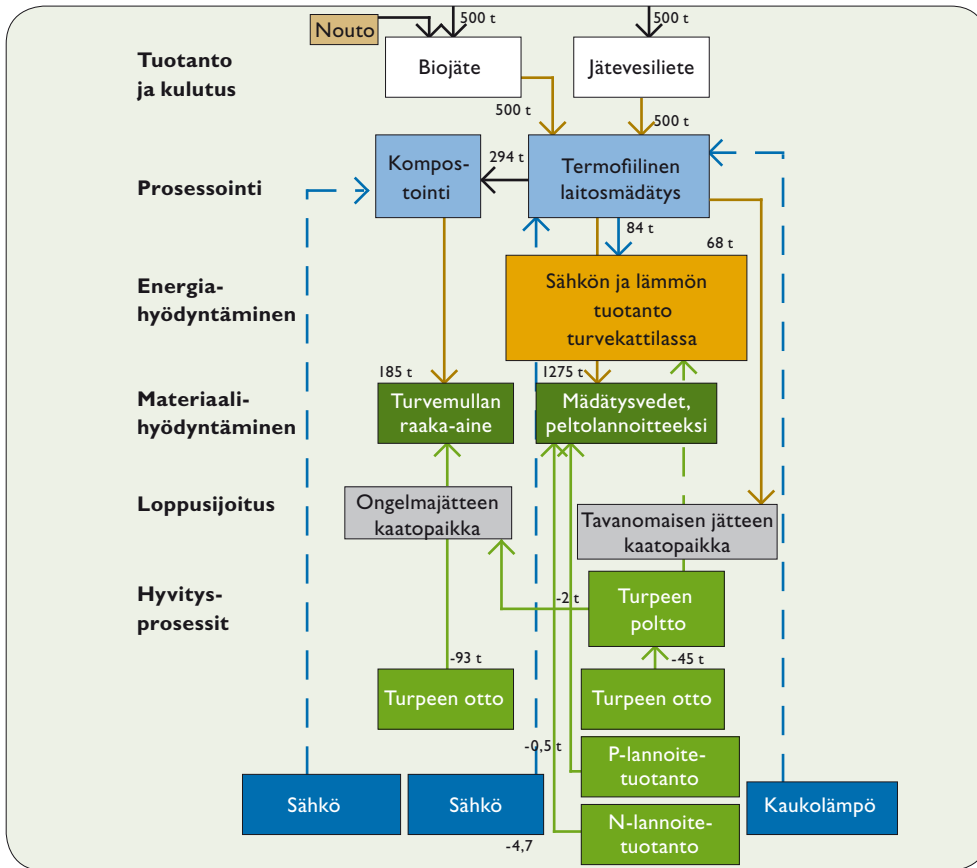
Kuva 20. Jätevesilietteen terminen kuivaus ja poltto prosessihöyryä käyttävän teollisuuslaitoksen yhteyteen perustetussa arinakattilassa, jonka tuottama energia korvaa kivihiihilauhdetta, öljyä, puuta ja maakaasua (L 3).



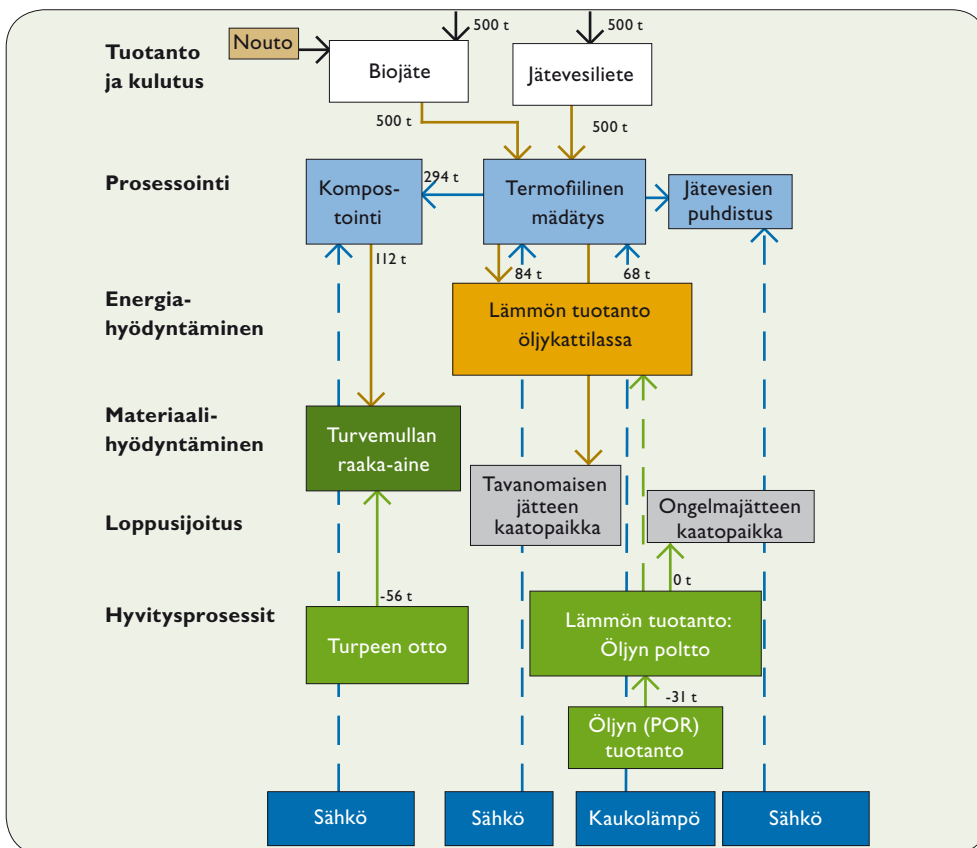
Kuva 21. Jätevesilietteen kemiallinen käsittely, kompostointi ja lopputuotteen käyttö viherrakentamisessa kasvualueen raaka-aineena (L 4).



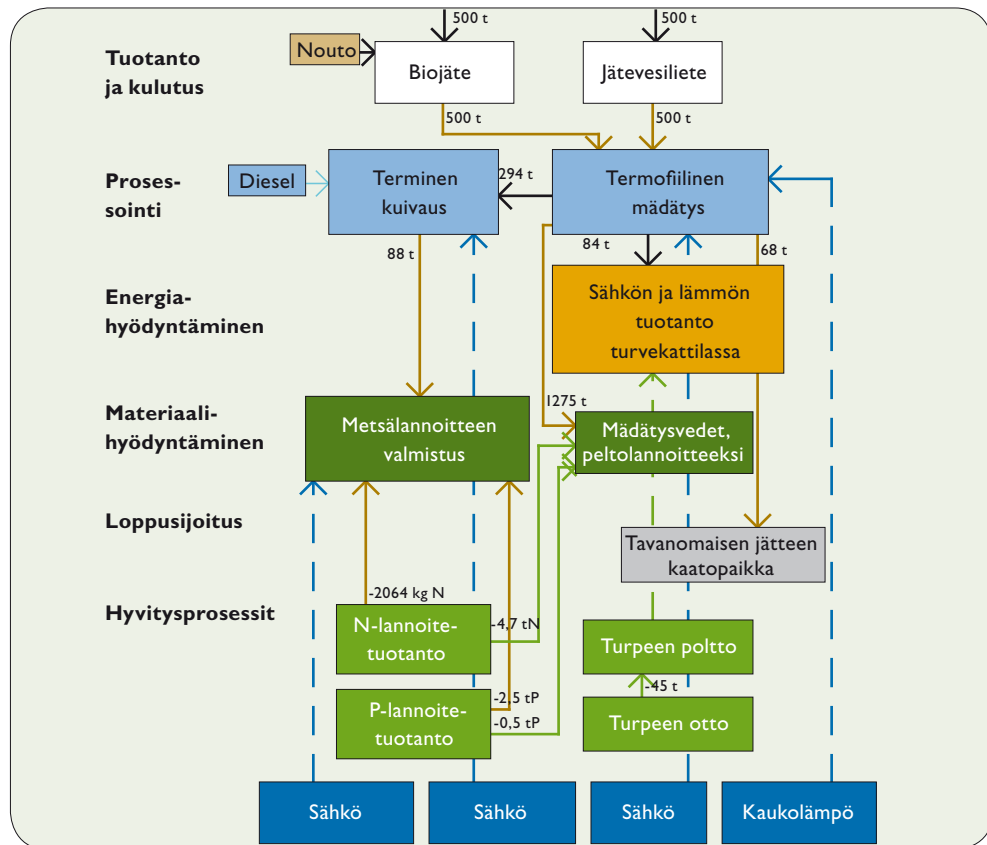
Kuva 22. Jätevesilietteen ja biojätteen mädätys ja lopputuotteiden käyttö energiantuotannossa, peltolannoitteena ja viherrakentamisessa kasvualueen raaka-aineena (L&Bj I).



Kuva 23. Jätevesilietteen ja biojätteen mädätys ja kompostointi ja lopputuotteiden käyttö energi-
antuotannossa, pelto-lannoitteena ja viherrakentamisessa kasvualueen raaka-aineena (L&Bj 2).

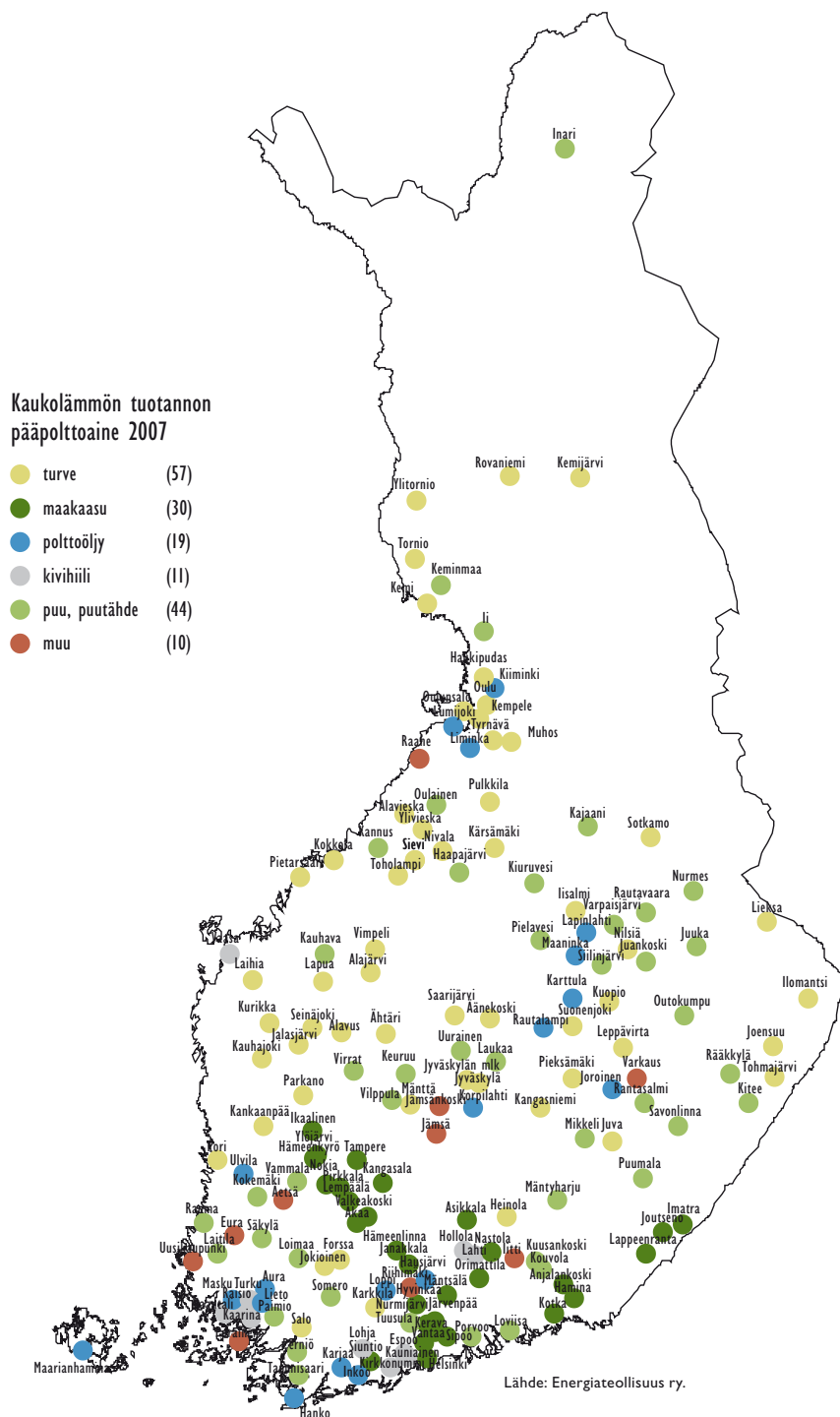


Kuva 24. Jätevesilietteen ja biojätteen mädätys ja kompostointi ja lopputuotteiden käyttö energian-
tuotannossa ja viher-rakentamisessa kasvualueen raaka-aineena (L&Bj 3).



Kuva 25. Jätevesilietteen ja biojätteen mädätys ja termiinin kuivaus ja lopputuotteiden käyttö energiantuotannossa ja metsälannoitteena (L&Bj 4).

Liite 3. Suomen kaukolämmön tuotannon pääpolttoaineet vuonna 2007.



KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus SYKE		Julkaisu-aika Lokakuu 2008	
Tekijä(t)	Tuuli Myllymaa, Katja Moliis, Antti Tohka, Simo Isoaho, Maria Zevenhoven, Markku Ollikainen ja Helena Dahlbo			
Julkaisun nimi	Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 39 / 2008			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetissä: http://www.ymparisto.fi/julkaisut SYKEra /2008: Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti.			
Tiivistelmä	<p>Jätehuollossa biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta ja kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä mm. lisäämällä jätteiden hyödyntämistä materiaalina ja energiana. Tutkimushankkeessa ”Polttokelpoisten jätteiden hyödyntäminen ympäristö- ja kustannusvaikutusten kannalta (POLKU)” luotiin tietopohjaa hyödyntämisvaihtoehdoista alueellisen jätesuunnittelun ja päätöksenteon tueksi. POLKU-hankkeen rahoittajina olivat ympäristöministeriö ja Jätelaitosyhdistys ry. Hankkeen toteuttivat yhteistyössä SYKE, Helsingin yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Åbo Akademi, Teknillinen korkeakoulu sekä Jätelaitosyhdistys ry. POLKU-hankkeessa tutkittiin kuuden jätelajin – sekajätteen, biojätteen, jätevesilietteen, sekä hyvälaatuisten muovi-, kuitu- ja puujätteen – hyödyntämismahdollisuuksien ympäristövaikutuksia ja kustannuksia kokonaisvaltaisesti elinkaariarvioinnin avulla. Tässä raportissa esitetään tarkastelun tulokset. Tutkimuksen pohjaksi koottu inventaariotieto mm. jätehuollon prosesseista raportoidaan erillisessä, Suomen ympäristökeskuksen raportteja -sarjan julkaisussa.</p> <p>POLKU-hankkeen tulokset osoittivat, että polttokelpoisten jätelajien hyötykäyttö tuottaa lähes aina ympäristöhyötyjä, joista merkittävimmät liittyvät ilmastomuutoksen hillitsemiseen. Se, onko hyötykäyttö parempi toteuttaa polttaen vai kierrättäen, riippuu tuotettavista energia- ja materiaali tuotteista ja ennen kaikkea siitä, minkälaisia tuotteita ne korvaavat. Elinkaaristen ympäristövaikutusten näkökulmasta katsottuna parhaat vaihtoehdot eivät välttämättä osoittautuneet yhteiskunnalle aiheutuvien nettokustannusten kannalta edullisimmiksi toimintamalleiksi. Tuloksiin vaikuttaneista tekijöistä merkittävimmiksi osoittautuivat jätteellä korvattava polttoaine ja jätteellä tuotetun energian tarve.</p> <p>Hankkeen jätelajikohtaisia tuloksia voidaan yleistää vain huomioimalla, että jätehuollon prosessien tiedot perustuvat esimerkkeihin, jätelajien laatu voi vaihdella alueittain ja että muutokset muissa tuote- ja energiajärjestelmissä riippuvat tarkasteltavan alueen teollisuudesta ja energiantuotantorakenteesta. Lopulliset johtopäätökset vaihtoehtojen paremmuudesta riippuvat siitä, painotetaanko ympäristövaikutuksia vai kustannuksia.</p>			
Asiasanat	elinkaariarviointi, ympäristövaikutukset, kustannukset, jätehuolto, jätteet, hyötykäyttö			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö			
	ISBN 978-952-11-3234-6 (nid.)	ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoj.)
	Sivuja 192	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta (sis.alv 8 %) 47,00 €
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus SYKE, PL 140, 00251 Helsinki Puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2008			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral SYKE			Datum Oktober 2008
Författare	Tuuli Myllymaa, Katja Moliis, Antti Tohka, Simo Isoaho, Maria Zevenhoven, Markku Ollikainen och Helena Dahlbo			
Publikationens titel	Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta (Miljökonsekvenserna och kostnaderna för återvinning och förbränning av avfall – en studie av avfallshandlingens alternativ ur regional synpunkt)			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljö 39/2008			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på internet: www.ymparisto.fi/syke/julkaisut . Miljökonsekvenserna och kostnaderna för återvinning och förbränning processer av avfall. Inventarie rapport.			
Sammandrag	<p>Deponering av biologiskt nedbrytbart avfall och utsläpp av växthusgaser inom avfallshandlingens måste minskas bl.a. genom att öka utnyttjandet av avfall som material och energikälla. I forskningsprojektet "Miljö- och ekonomiska konsekvenser av att återvinna brännbart avfall (POLKU)" skapades en kunskapsbas av olika utnyttjandeanternativ för avfall till stöd för den regionala avfallsplaneringen och beslutsfattandet. Finansierar för POLKU-projektet har varit miljöministeriet och Avfallsverksföreningen. Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Finlands miljöcentral, Helsingfors universitet, Tampereen teknillinen yliopisto, Åbo Akademi, Tekniska högskolan samt Avfallsverksföreningen.</p> <p>I POLKU-projektet undersöktes miljökonsekvenserna och kostnaderna av att utnyttja sex avfallstyper - blandavfall, bioavfall, avloppsslam samt plast-, fiber- och träavfall - genom en helhetsinriktad livscykelanalys. Denna rapport presenterar studiens resultat. Det insamlade inventariematerialet om bl.a. avfallshandlingens processer rapporteras i en skild publikation i serien Finlands miljöcentrals rapporter.</p> <p>POLKU-projektets resultat visade, att utnyttjandet av brännbara avfallstyper nästan alltid gagnar miljön och då är de betydelsefullaste fördelarna förknippade med hejandet av klimatförändringen. Huruvida det är bättre att utnyttja avfall genom att bränna eller återvinna beror på de producerade energi- och materialprodukterna och i synnerhet på hurdana produkter de ersätter. Med tyngdpunkten på livscykelanalyserade miljökonsekvenser har de bästa alternativen inte nödvändigtvis visat sig vara fördelaktiga för samhällsekonomi. Av de faktorer som mest påverkat resultaten visade sig det bränsle som ersätts med avfall och behovet av med avfall producerad energi vara viktigast.</p> <p>Resultaten för de olika avfallsslagen kan generaliseras med observationen, att uppgifterna om avfallshandlingens processer baserar sig på exempel, att avfallsslagens kvalitet kan variera från region till region och att förändringarna i andra produkt- och energisystem beror på det observerade områdets industri och energiproduktionsstruktur. De definitiva slutsatserna om de olika alternativens överlägsenhet beror på om man betonar miljökonsekvenser eller kostnader.</p>			
Nyckelord	livscykelanalys, miljöeffekter, kostnader, avfallshandling, avfall, utnyttjande			
Finansiär/uppdragsgivare	Miljöministeriet			
	ISBN 978-952-11-3234-6 (hft.)	ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 192	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) 47,00 €
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima, Helsinki 2008			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute SYKE			<i>Date</i> October 2008
<i>Author(s)</i>	Tuuli Myllymaa, Katja Moliis, Antti Tohka, Simo Isoaho, Maria Zevenhoven, Markku Ollikainen and Helena Dahlbo			
<i>Title of publication</i>	Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta (Environmental impacts and costs of recycling and incineration of waste – The alternatives of regional waste management)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 39 / 2008			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is also available on the Internet: www.environment.fi/publications Environmental loads and costs of waste recycling and incineration processes. Inventory report.			
<i>Abstract</i>	<p>The challenge in waste management is to reduce landfilling of biodegradable waste and greenhouse gas emissions by, for instance, increasing the recovery of material and energy. In the research project "Environmental and economic impacts from recycling of combustible wastes (POLKU)" a database was established of different recovery alternatives to support regional waste management planning and decision making. Ministry of Environment and the Finnish Solid Waste Association financed the POLKU project, which was carried out jointly by the Finnish Environment Institute, University of Helsinki, Tampere University of Technology, Åbo Akademi University, Helsinki Uni-versity of Technology, and the Finnish Solid Waste Association.</p> <p>In the POLKU project the environmental impacts and costs of recovery of six waste types were studied - mixed municipal waste, biowaste, sludge, and good quality plastic, fiber and wood waste - through a comprehensive life cycle assessment. This report presents the results of the study. The inventory data bases of the study, i.e. of the processes of waste management, will be reported in a separate publication in the series Reports of the Finnish Environment Institute.</p> <p>The results of the POLKU project showed that recovery of combustible waste almost always produces benefits for the environment, of which the most important are linked to controlling cli-mate change. Whether recovery is better done by incineration or recycling depends on which energy or material products are produced, and, foremost, on what kind of products they replace. Looking at the environmental impacts through life cycle assessment the best alternatives have not necessarily proven to be the most economical for society. The most important factors for the results turned out to be fuel replaced by waste, and the need for energy produced by waste.</p> <p>The results concerning specific waste types can be generalized by the observation that the data of the processes of waste management are based on examples, the quality of the waste types may vary by region, and that changes in other product and energy systems depend on the industry and energy production of the region in question. The final conclusions concerning which alternatives are the best depend on whether environmental impacts or costs are emphasized.</p>			
<i>Keywords</i>	life cycle assessment, environmental impacts, costs, waste management, waste, recovery			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment			
	ISBN 978-952-11-3234-6 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	No. of pages 192	Language Finnish	Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %) 47,00 €
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O.Box 780, FI-00043 Edita, Finland Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute SYKE, P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Phone +358 20 610 123, Fax +358-9-5490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima, Helsinki 2008			

Biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta ja kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä muun muassa lisäämällä jätteiden hyödyntämistä materiaalina ja energiana. Tämän toteuttamiseen löytyy monia keinoja, mutta mikä niistä tulisi valita ympäristön näkökulmasta? Entä kustannusten? Ja mistä kaikki riippukaan? Näihin kysymyksiin etsittiin ja löydettiin vastauksia elinkaariajattelu-tapaan perustuvassa kokonaistarkastelussa, joka antaa kaivattua tietopohjaa jätteiden hyödyntämisvaihtoehdoista niin käytännön toimijoille kuin alueellisen jätesuunnittelun ja päätöksenteon tueksi.



Ympäristöklusterin
tutkimusohjelma



Myynti: Edita Publishing Oy
PL 780, 00043 EDITA
Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Antinkatu 1, puh. 020 450 2566

ISBN 978-952-11-3234-6 (nid.)

ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkköj.)