

Kierrätysmateriaaleja hyödyntävien kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi

Tiina Ruuskanen

MTT Kasvintuotanto, MTT Planta, 31600 Jokioinen, tiina.ruuskanen@mtt.fi

Tiivistelmä

1.5.2012 voimaan tulleen jätelain vaatimuksesta on biohajoavien jätteiden hyödyntämistavoite lähes 100 % ja siksi on biojätteiden hyödyntämismahdollisuuksiin liittyvä tutkimus erittäin ajankohtaista. EU:n Life+ ohjelmaan kuuluva ”Elinkaarianalyysin soveltaminen kestäväan, kierrätysmateriaaleja hyödyntävään viherrakentamiseen” – hanke keskittyy kierrätysmateriaalien käytön mahdollisuuksiin viherrakentamisessa ja hankkeen yksi tavoitteista on tarkastella kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristölle ja yhteiskunnalle aiheutuvia vaikutuksia sekä arvioida niiden kustannuksia.

Tarkastelussa käytetään elinkaarianalyysin ja kustannus-hyötyanalyysin yhdistelmää ja ympäristövaikutuksille lasketaan mahdollisuuksien mukaan myös kustannukset. Kasvualustojen tuotantoprosessin merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät ilmastopäästöihin. Kompostointiprosessissa huomiotaan metaani ja dityppioksidin päästöt ja niiden ilmastovaikutus ilmaistaan ekvivalenttisenä hiilijalanjälkenä. Kompostointiprosessin hiilijalanjälki on 95 kg CO₂-ekv. per tonni kompostia. Muut raaka-aineet ja prosessi huomioiden on laskujen mukainen hiilijalanjälki puistomullalle 39 kg CO₂-ekv. per tonni tuotetta ja puutarhamullalle 56 kg CO₂-ekv. per tonni tuotetta. Perinteisellä valmistustavalla, jossa kompostin sijaan käytetään jyrshinturvetta, hiilijalanjälki ja vastaavat luvut ovat puistomullalle 48 kg CO₂-ekv. per tonni tuotetta ja puutarhamullalle 62 kg CO₂-ekv. per tonni tuotetta.

Ympäristökustannuksia laskettaessa huomiotaan myös muut ympäristölle aiheutuvat vaikutukset, joista rehevöittävät ja happamoittavat vaikutukset vesistöön ovat tärkeimpiä. Hyvin hoidetussa laitoksessa pystytään kompostoinnin vaikutukset vesistöön pitämään melkein olemattomina. Turpeen nosto puolestaan aiheuttaa huomattavia vaikutuksia vesistöön ja se nostaa turvetta sisältävien tuotteiden ympäristökustannukset korkeammaksi.

Yhteiskunnallisen vertailun tekee haasteelliseksi turpeen noston ja kompostointi prosessin erilaisuus ja vaikuttavuus eri alueilla. Yhteisinä tekijöinä ovat kuitenkin työllisyys, melu, pöly, hyväksyttävyyys, haju ja terveystriskit. Käytetään puolikvantitatiivista menetelmää, jossa vertailu suoritetaan numeeristen painoarvojen avulla. Turpeen käytöllä on enemmän negatiivisia yhteiskunnallisia vaikutuksia verrattuna kompostin käyttöön. Laskelmien tulokset suosivat kasvualustatuotteiden valmistuksessa turpeen korvaamista kompostilla. Tarpeellista on myös kompostituotteiden valikoiman laajentaminen ja sen avulla laajempi kompostin käyttö epäorgaanisten lannoitteiden korvaajana.

Asiasanat: kasvualusta, komposti, turve, hiilijalanjälki, elinkaarianalyysi, kustannus-hyötyanalyysi

Johdanto

1.5.2012 voimaan astunut jätelain (646/2011) tavoitteena on, että koko Suomen jätehuolto toimii vastuullisesti, järkevästi, edistyksellisesti ja materiaalitehokkaasti. Yksi lain mukainen muutos on valtioneuvoston asetus (861/1997) kaatopaikoista, joka kieltää yli 10 % orgaanista ainetta sisältävien jätteiden eli biojätteen ja enemmistön yhdyskuntajätteiden loppusijoituksen kaatopaikoille vuodesta 2016 alkaen. Tärkein syy tähän on biohajoavista jätteistä hapettomissa olosuhteissa syntyvä metaani, joka on hiilidioksidia huomattavasti voimakkaampi kasvihuonekaasu (IPCC, 2012). Tästä johtuen on löydettävä yhä enemmän vaihtoehtoja biohajoavien jätteiden hyötykäyttöön ja kierrättämiseen.

Biohajoavien jätteiden tärkeimmät käsittelyvaihtoehdot ovat kompostointi, mädätys ja poltto, joista viimeinen on kaikkein vähinten hyödyllinen (Keskitalo & Kettunen, 2007). Mädätyksen ja kompostoinnin kautta on mahdollista palauttaa jätteissä olevat kasviraavinteet takaisin kiertoon (Paavola et al. 2009 ja Latvala, 2009).

Biohajoavien jätteiden käsittelyssä syntyvien tuotteiden tärkein käyttökohde on maanviljely ja viherrakentaminen. Kompostin käyttö alentaa tehdasvalmisteisten lannoitteiden käyttöä ja samalla parantaa maaperän ominaisuuksia ja edistää humuksen lisääntymistä (Euroopan yhteisöjen komissio, 2006). Orgaanisen aineen riittävyys maaperässä estää hiilen varastointikyvyn heikkenemistä ja hillitsee ilmastomuutosta (Kaihiluoto & Kuisma, 2010).

Edellä mainitun perusteella on meneillään monia hankkeita ja yksi niistä on MTT:n tutkimusprojekti ”Elinkaarianalyysin soveltaminen kestävän, kierrätysmateriaaleja hyödyntävään viherrakentamiseen”. Hanke tutkii kierrätysmateriaaleja sisältävien kasvualustojen käytön edellytyksiä viherrakentamisessa ja arvioi niiden soveltuvuutta elinkaarianalyysiä käyttäen. Hankkeessa on monta työpakettia ja yksi niistä on viheralueiden elinkaaren kustannus-hyötyanalyysi. Tässä kirjoituksessa esitetään yksi osuus kustannus-hyötyanalyysin kokonaisuudesta eli kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi. Hankkeen puitteissa analysointi jatkuu ja suoritetaan samalla periaatteella viheralueen koko elinkaarelle.

Aineisto ja menetelmät

Osuuden aiheeksi valikoitunut kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysissä arvioidaan Kekkilä Oy:n Mustankorkean multa-asemalla valmistettuja tuotteita ja yritykseltä saatua dataa. Käsiteltävinä oli eri kasvualustojen tuotantoprosesseista syntyvät keskeisimmät ympäristövaikutukset: hiili- ja vesijalanjälki, rehevöityminen ja happamoituminen. Saaduille vaikutuksille arvotettiin niiden taloudellisuutta, joille on jo saatavilla tilastollista ja tutkimuspohjaista tietoa.

Arvioinnin piirin kuului kasvualustojen valmistusprosessi ja näin analysointi aloitettiin kompostointilaitokselta. Jätteiden kuljetus ja keräys jäivät tässä vaiheessa laskennan ulkopuolella. Koko projektin työpaketissa huomioidaan myös kuljetukset ja keräys maksimissaan 100 km etäisyysalueelta. Laskenta tässä työvaiheessa lopetettiin multatuotteen valmistumiseen ja perusteena siihen oli tutkimusten osoittama vähäinen vaikutus muiden käsittelyvaiheiden ympäristövaikutuksiin verrattuna (Kaihiluoto & Kuisma, 2010). Lopullisessa analyysissä huomioidaan myös kaikki kuljetukset.

Ilmastovaikutusten arvioitiin hiilijalanjäljen avulla, jossa kaikki päästöt muutettiin CO₂-ekv:ksi muutoskertoimia käyttäen. Laskennassa huomioidtiin kompostoinnin aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt, sähkön ja kemikaalien kulutuksesta johtuvat päästöt sekä käsittelyssä käytetyn polttoaineen vaikutukset. Kompostoinnissa syntyviä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi, dityppioksidi ja metaani. Vesihöyryn ja hiilidioksidin osuutta ei tarvitse kompostoinnissa ottaa huomioon, koska ihmisten toimesta syntyvän vesihöyryn osuus on kokonaisuudessa merkityksetön ja hiilidioksidin laskentaan voivan sitoutua uudelleen biomassaan (Andersen et al., 2010 ja Myllymaa et al., 2008).

Veden käyttöä arvioiva mittari vesijalanjälki oli haastavampi toteuttaa laskureiden puuttumisen takia. Ne ovat työn alla, mutta kansainvälisesti hyväksytyjä standardeja ei ole vielä julkaistu. Vesijalanjälki laskennoissa huomioidtiin niin sininen, vihreä kuin myös harmaan veden osuus.

Muut huomioitavat ympäristötekijät ovat rehevöityminen ja happamoituminen. Rehevöitymistä ja happamoitumista arvioitiin Mustankorkea Oy:ltä saatujen kompostointilaitoksen vuosiraportin perusteella (Mustankorkea, 2012).

Ympäristövaikutuksista johtuvat kustannukset eivät ole markkinoiden määräämiä ja siitä johtuu, ettei niille löydy markkinahintoja. Sen seurauksena hinnat jouduttiin määrittämään taloustieteellisten menetelmien kautta ja päästöjen aiheuttamille kustannuksille hinta-arviot tuotettiin erilaisia suoria ja epäsuoria menetelmiä käyttämällä. Kirjallisuudesta löytyvät hinta-arviot tärkeimmille päästöille ja taulukkoon 1 on kerätty kompostoinnissa huomioitavien päästöjen kustannukset, joita on käytetty vertailua suorittaessa.

Taulukko 1. Päästökohittaiset ympäristökustannukset.

Päästö	Euroa / tonni	Lähde
N ja N-ekvivalentti	357,00	Lankoski et al. 2008
CO₂ ja CO₂-ekv.	20,00	Bickel & Friedrich, 2005
SO₂	970,00	Nordic Council of Ministers, 2007
NO_x	900,00	Heatco, 2007
Pienhiukkaset (alle 2,5 ppm)	1975,00 (6000,00)	Eunomia Research & Consulting, 2002 (Heatco, 2007)

Yhteiskunnallisia vaikutuksia arvioitaessa on ensin identifioitu ryhmät, joihin toiminta vaikuttaa, ja määritelty vaikutukset, jotka ovat olennaisia. Kasvualustojen tuotantoprosessilla on vaikutuksia seuraaville ryhmille: kunta/viranomaiset, lähialueen asukkaat ja asiakkaat eli tuotteiden käyttäjät. Vaikutuksista tärkeimmät ovat terveys ja viihtyvyys, joihin kuuluvat terveysriskit, haju, melu sekä haittaeläimet ja työllisyys. Yhteiskunnallisten vaikutusten arviointia varten ei ole vielä olemassa standardoitua menetelmää eikä yhteiskunnallisille vaikutuksille ole arvioituja hintoja, markkinahinnoista puhumattakaan. Monipuolisemman tuloksen saamiseksi käytettiin puolikvantitatiivista menetelmää, jossa vaikutusten arvioille annettiin numeroarvot ja sen kautta vertailtiin tuotteita keskenään.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Hiilijalanjälki

Tulosten tarkastelua aloitetaan hiilijalanjäljen kautta. Kompostoinnissa hiilijalanjäljen laskennassa huomioitiin metaani- ja dityppioksidipäästöt, jotka ovat 0,958 kg CH₄ ja 0,043 kg N₂O per jätetonne (Myllymaa et al., 2008). Kertoimien 25 ja 298 (IPCC, 2012) avulla saatiin ilmastovaikutusarvioiksi yhteensä 1 097 545,1 kg CO₂-ekv. Sähkön vaikutukseksi päästökertoimen 0,313 kg CO₂-ekv./kWh (Mattinen, 2011) kautta vaikutuksen arvoksi saatiin 536 426,9 kg CO₂-ekv. Kuljetusten vaikutusten laskentakerroin on 0,034 kg CO₂-ekv./tkm (Y-Hiilari, 2011 ja Lipasto, 2012). Saatujen tietojen perusteella kokonaisuudessa polttoaineesta kertyvien vaikutusten määrä on 139 483,6 kg CO₂-ekv. Saatujen tulosten avulla selvisi vaikutukset kompostitonnia kohden ja ne ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Kompostoinnin hiilijalanjälki, kg CO₂-ekv. per tonni kompostia.

	CH ₄	N ₂ O	Sähkö	Kuljetukset	Pyöräkuormaaja	Aumojen sekoitus	Yhteensä
CO₂-ekv. kg/t	36	20	27	2	3	7	95

Vertailun kohteena ollut tuotteet eroavat toisistaan koostumukseltaan ja käyttötarkoituksestaan riippuen määritellään kompostin/turpeen ja hiekan sekoitus. Tuotteiden valmistusprosessi lisää ympäristövaikutuksia ja taulukkoon 3 on kerätty prosessin käyttämien koneiden kokonaisvaikutukset.

Taulukko 3. Tuotteiden valmistusprosessin koneiden päästöt, kg CO₂-ekv./t multa.

	Koneet	Sekoitusseula	Hietamaan kuljetus	Turpeen kuljetus
CO ₂ -ekv kg/t multa	1,7	0,2	1,2	12,5

Taulukoissa esitettyjen tulosten avulla on laskettu hiilijalanjäljet kasvualustatuotteille. Turpeen noston hiilijalanjälki on kompostointia korkeampi, noin 105,9 kg CO₂-ekv. tonnia turvetta kohden (Defra, 2009). Lisäksi pitää huomiota kuljetuksesta johtuvat vaikutukset. Nämä tekijät huomioiden on laskettu hiilijalanjäljet muutamalle tuotteelle ja vertailun vuoksi myös eri raaka-aineita käyttäen. Tulokset ovat taulukossa 4.

Taulukko 4. Kasvualustatuotteiden hiilijalanjäljet, kg CO₂-ekv./t tuotetta.

Tuote	Hiilijalanjälki, kg CO ₂ -ekv/ t
Puustomulta Kekkilän ohjeilla (komposti)	39
Puustomulta perinteinen (turve)	48
Puutarhamulta Kekkilän ohjeilla (turve + komposti)	56
Puutarhamulta vain kompostilla	50
Puutarhamulta vain turpeella	62

Taulukosta selviää, että turpeen käyttö nostaa tuotteen hiilijalanjälkeä ja näin myös ympäristölle aiheuttavia haittoja.

Vesijalanjälki ja muut ympäristövaikutukset

Veden käytön arviointi osoittautui haastavaksi kansanvälisesti hyväksytyjen laskureiden puutteen takia. Laitoksen käyttämä talousveden määrä on alhainen, koska aumojen kasteluvetenä on käytössä kaatopaikan suotovesialtaan vesi ja näin sinisen veden jalanjälki on vain noin 29 l per tonni kompostia, Vihreän veden jalanjäljeksi laskettiin 500 l per tonni kompostia. Kaikki laitoksen jätevedet ohjataan viemäristöön ja näin harmaa vesijalanjälki on nolla, tai riippuu viemärivereden puhdistusasteesta (Hoekstra et al., 2011). Tämä arviointi on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Kompostoinnin kokonaisvesijalanjälki on 529 l per tonni valmista kompostia. Kompostia sisältävien tuotteiden vesijalanjälki on 201.0 – 264,5 l per tonni tuotetta koostumuksesta riippuen.

Turpeen nostolle ei kuitenkaan riittämättömien tutkimustulosten takia voida vielä laskea vesijalanjälkeä (Klöve, 2009 ja Heikkinen et al., 2009). Vaikutukset vesistöön ovat kuitenkin huomattavat huuhtoutumien takia, erityisemmin sade- ja tulvajaksojen aikana (Heikkinen et al., 2009).

Vesijalanjälki kasvualustojen valmistusprosessin vaiheessa on pieni ja vaikutus viheralueen koko elinkaarelle on olematon. Muut elinkaari vaiheet ovat vesijalanjäljen kannalta merkittäviä ja vaikutus huomattava.

Muista ympäristövaikutuksista rehevöitymiseen on kompostoinnilla hyvin hoidetussa laitoksessa olematon vaikutus, johtuen ravinteikkaiden vesien johtamisesta jätevesipuhdistamolle. Kasvualustojen käyttö ja turpeen nosto osaltaan lisäävät rehevöitymistä ja näin vaikutukset koko elinkaaren aikana ovat merkittävät ja riippuvat myös käytetyn tuotteen raaka-aineista.

Happamoituminen johtuu typen ja rikin yhdisteiden laskeutumista ja vaikutuksista valumavesiin. Jätevesien keräyksestä johtuen vaikutusta vesistöön ei ole, mutta ilmakehään vaikutuksia ei kokonaan voida välttää. Rikkiyhdisteitä ei kompostointiprosessissa synny, mutta typpiyhdisteiden syntymistä ja päätymistä ilmakehään ei kokonaan voida estää. Tunnelissa tapahtuvan kompostoinnin aikana kerätään vähintään 95 % syntyvästä ammoniakista happipesureiden avulla talteen ja näin on kompostitonnia kohden ilmakehään joutuvan ammoniakkin määrä 0,024 kg. Turpeen nosto aiheuttaa korkeammat vaikutukset. Tonnin turpeen nostosta syntyy 0,008 kg rikkidioksidia ja 0,112 kg typpiyhdisteitä. (Defra, 2009) Lisäksi tapahtuu veteen liukenemista sekä pienhiukkaspäästöjä.

Ympäristövaikutusten kustannusvertailu

Saaduille ympäristövaikutuksille on menetelmien osuudessa esitettyjä hinta-arvioita käyttäen laskettu ympäristökustannukset tuotteille eri raaka-aineista valmistettuna. Tulokset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Tuotteiden ympäristökustannukset, euroa/t tuotetta.

Tuote	Hiilijalanjälki, e/t tuotetta	Muut vaikutukset, e/t tuotetta	Kustannukset yhteensä, e/t tuotetta
Puustomulta (komp)	0,78	0,003	0,783
Puustomulta (turve)	0,92	0,032	0,952
Puutarhamulta (turve+komposti)	1,12	0,11	1,131
Puutarhamulta (komp)	1,00	0,002	1,002
Puutarhamulta (turve)	1,24	0,043	1,283

Taulukosta selviää, että turpeen käyttö nostaa ympäristöstä johtuvia kustannuksia ja näin on kompostin käyttö taloudellisesti suotavampi.

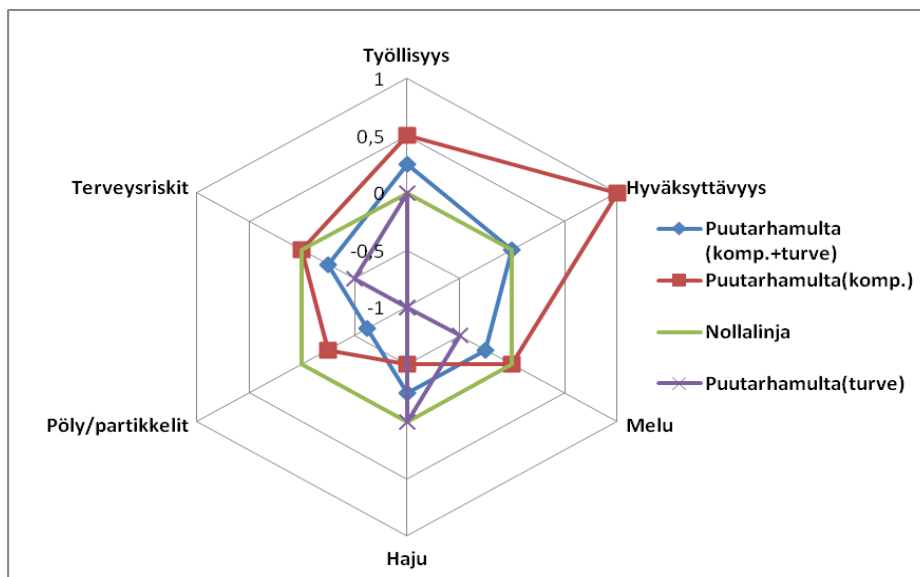
Yhteiskunnalliset vaikutukset

Puolikvantitatiivista arviointia käyttämällä saadut numeeriset arvot yhteiskunnallisille vaikutuksille ovat taulukossa 6. Arvot ovat välillä -2...2. Kaikki 0 yläpuolella olevat vaikutukset ovat myönteisiä, ja negatiiviset luvut tarkoittavat haittoja.

Taulukko 6. Kompostoinnin ja turpeen noston vaikutusten numeeriset arvot.

Vaikutus	Kompostointi	Turpeen nosto
Työllisyys	1	0
Hyväksyttävyys	2	-2
Melu	0	-1
Haju	-1	0
Pöly/partikkelit	-0,5	-2
Terveysriskit	0	-1

Tulosten havainnollistaminen on helpompaa kaavion avulla ja kuvassa 1 on yhden arvioidun tuotteen yhteiskunnallinen vertailu. Vertailun tulos on sitä myönteisempi ja vaikutukset positiivisempia, mitä isomman alueen kaaviosta se kattaa.



Kuva 1. Puutarhamullan yhteiskunnallinen vertailu.

Kuvasta näkyy, että kompostin käyttö on yhteiskunnallisten vaikutusten kannalta paras vaihtoehto. Turvetta vaativien kasvien tapauksessa on hyväksyttävämpi turpeen ja kompostin seos verrattuna turpeen, hiekan ja väkilannoitteista valmistettuihin tuotteisiin.

Johtopäätökset

Turpeen nostolla on niin ympäristön kannalta kuin myös yhteiskunnallisesti enemmän haittavaikutuksia kuin kompostointiprosessilla. Hiilijalanjäljessä ero ei ole vielä merkittävä, mutta vesistöön vaikutus nostaa turpeesta aiheutuvien vaikutusten määrä ratkaisevasti. Näin voidaan todeta, että ympäristön kannalta on suotuisampi käyttää enemmän kompostia kasvualustatuotannossa ja pyrkiä kokonaan, jos mahdollista, korvamaan turve kompostilla. Turpeen käyttö lisää epäorgaanisten lannoitteiden käyttöä, ja myös sitä kautta nostaa haittavaikutuksia ympäristölle. Kompostilla on kaikki tarvittavat ominaisuudet turpeen korvaamiseksi ja lisäksi vielä muitakin myönteisiä vaikutuksia, kuten ravintesisältö ja ravinteiden palauttaminen luonnollisen kiertoon.

Yhteiskunnallisesta näkökulmasta tulee esiin muitakin vaikuttavia tekijöitä, joiden avulla voidaan perusteella kompostin käytön hyödyllisyyttä. Pöly-, melu- ja terveyshaittojen lisäksi on tärkeä huomioida turpeen erittäin hidas uusiutuminen ja muualla maailmassa luokittelu uusiutumattomaksi luonnonvaraksi (Defra, 2009). Kaikkien vaikutusten yhteisummana on vaikea löytää perusteltuja syitä turpeen käytölle kasvualustatuotannossa.

Kirjallisuus

Andersen J, Boldrin A, Christensen T, Scheutz (2010) Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. *Waste Management* 12:s. 2475 – 2482.

Bickel P & Friedrich R (toim.) (2005) EC, Externalities of Energy Methodology 2005 Update. Luxemburg, European Commission. 287 s.

Defra (2009) A preliminary assessment of the greenhouse gases associated with growing media materials. IFO154. Research Final Report.5: 30 s.

Eunomia Research & Consulting (2002) Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste. Final Report to the European Commission. 202s.

Euroopan yhteisöjen komissio (2006) Maaperän suojelua koskeva teemakohtainen strategia. Komission tiedonanto neuvostolle, Euroopan parlamentille, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle Suomenkielinen versio. 13 s.

Heatco (2007) Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Annex D. Bickel P & Droste-Franke B (toim.). 25 s.

Heikkinen K, Karjalainen S & Ihme R (2009) Turvetuotannon vesistövaikutukset ja vesiensuojelu. *Vesitalous* 1: s.6-8.

Hoekstra A, Chapagain A, Aldaya M & Mekonnen M (2011) Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. London, Washington DC, Earthscan, 228 s.

IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.[Field C, Barros V, Stocker D, Qin D, Dokken D, Ebi K, Mastrandrea M, Mach K, Plattner G-K, Allen S, Tignor M, Midgley P (toim.)]. Cambridge, Cambridge University Press. 582 s.

Kahiluoto H & Kuisma M (toim.) (2010) Elintarvikeketjun jätteet ja sivuvirrat energiaksi ja lannoitteiksi. JaloJäte tutkimushankkeen synteesiraportti. Tampere, MTT, 120 s.

Keskitalo P & Kettunen R (2007) Jätevesilietteiden ravinteiden kierrätyksen strategiasta. *Vesitalous*, 48: s. 14–17.

Klöve B (2009) Tutkimustiedolla kohti tehokkaampaa turvetuotannon vesiensuojelua. *Vesitalous*1: s. 4-5.

Lankoski J, Lichtenberg E & Ollikainen M (2008) Point/nonpoint effluent trading with spatial heterogeneity. *American Journal of Agricultural Economics* 90: s. 1044 – 1058.

Latvala M (2009) Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) – Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. 114 s.

LIPASTO (2012) Lipasto – liikenteen päästöt. saatavissa: <http://www.lipasto.vtt.fi>.

Mattinen (2011) Ohje julkisten hankintojen hiilijalanjälkilaskuriin. *Julia 2030 – hanke*. Suomen ympäristökeskus. 15s.

Mustankorkea (2012) Kompostointilaitos. Vuosiraportti 2011. 13 s.

Myllymaa T, Moliis K, Tohka A, Rantanen P, Ollikainen M & Dahlbo H (2008) Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28, SYKE, 82 s.

Nordic Council of Ministers, (2007) Nordic guideline for cost-benefit analysis in waste management. Copenhagen, Nordic Council of Ministers. 128 s.

Paavola T, Luostarinen S & Rintala J (2009) Processing biogas plant digestates into value-added products – BIOVIRTA. Teoksessa: *BioRefine Programme 2007-2012. Yearbook 2009*: s. 221–225.

Y-Hiilari (2011) Yrityksen hiilijalanjälkilaskuri. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi>.