

# Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittely- vaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset

Kaisa Manninen, Jáchym Judl ja Tuuli Myllymaa





# Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittely- vaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset

**Kaisa Manninen, Jáchym Judl ja Tuuli Myllymaa**



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 29 | 2015  
Ympäristöministeriö  
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö / Marianne Laune  
Kansikuva: Kaisa Manninen

Julkaisu on saatavana vain internetistä:  
[www.ym.fi/julkaisut](http://www.ym.fi/julkaisut)

Helsinki 2015

ISBN 978-952-11-4473-8 (PDF)  
ISSN 1796-170X (verkkokj.)

## ESIPUHE

Puupakkausjätettä ja rakennuspuujätettä on Suomessa hyödynnetty pääosin energiantuotannossa. Puupakkausjätettä on myös jossain määrin kierrätetty kompostin tukiaineena sekä puulavoja on korjattu uudelleen käytettäväksi. Puujätteen energiahyödyntämistä on Suomen oloissa pidetty järkevänä, koska puujätteellä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja samalla saadaan energiantuotannon ilmastonmuutosvaikutuksia pienennettyä. Puupakkausjätteen ja rakennuspuujätteen kierrättäminen on Suomessa haasteellista, koska sahojen puhdasta puujätettä on saatavilla runsaasti esimerkiksi lastulevyteollisuudelle eikä menekkiä likaisemmalle puujätteelle siksi ole. Puujätteen likaantuminen, esimerkiksi rakennuspuujätteen betonijäämät, aiheuttavat omat haasteensa kierrätykselle.

EU:n jätedirektiivissä asetetaan tavoitteeksi, että 70 % rakennus- ja purkujätteestä tulisi kierrättää tai käyttää muutoin materiaalina hyödyksi vuoteen 2020 mennessä. Puupakkausjätteen kierrätystavoite on nyt 15 %, mutta komissio esittänee tavoitteen tuntuvaan kiristämistä kiertotalouspaketin yhteydessä antamassaan direktiivin muutosehdotuksessa. Tavoitteet ovat haastavia Suomelle, jossa puujätteen osuus rakennus- ja purkujätteestä on korkeampi kuin monissa muissa EU-maissa ja jossa kierrätyspuulle ei ole kysyntää.

Koska puupakkausjätteen ja rakennuspuujätteen eri hyödyntämistapojen elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia ei aiemmin ole selvitetty, ympäristöministeriö tilasi selvityksen Suomen ympäristökeskukselta. Suomen ympäristökeskuksessa elinkaariselvityksen tekivät Kaisa Manninen, Jáchym Judl sekä Tuuli Myllymaa. Selvitystä ohjasivat Riitta Levenen ja Sirje Stén ympäristöministeriöstä.

Helsinki 24.11.2015

Ympäristöministeriö



## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>1 Johdanto</b> .....	7
<b>2 Jätetilastot ja puujätteiden määrät Suomessa</b> .....	8
2.1 Puupakkausjätteet .....	8
2.2 Rakentamisessa syntyvät puujätteet .....	9
<b>3 Puujätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut</b> .....	10
3.1 Yleistä .....	10
3.2 Aiemmat tutkimukset aiheesta .....	10
3.3 Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät soveltamisala ja toiminnallinen yksikkö .....	11
3.4 Käsittelyvaihtoehto 1: Puukomposiitin valmistus puujätteistä .....	11
3.5 Käsittelyvaihtoehto 2: Puun hyödyntäminen energiana .....	13
3.6 Käsittelyvaihtoehdot 3 A, B ja C: Puujätteiden käyttäminen lastulevyn valmistuksessa .....	15
<b>4 Tuloksille laadittujen epävarmuustarkastelujen kuvaus</b> .....	17
<b>5 Elinkaariarvioinnin tulokset</b> .....	19
5.1 Yleistä elinkaariarvioinnin tulosten tulkinnasta .....	19
5.2 Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutukset .....	19
5.3 Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset .....	21
5.4 Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset .....	22
5.5 Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset .....	24
<b>6 Yhteenvedo ja johtopäätökset</b> .....	26
<b>Lähteet</b> .....	28
<b>Liite</b> .....	29
<b>Kuvailulehti</b> .....	30
<b>Presentationsblad</b> .....	31
<b>Documentation page</b> .....	32





# 1 Johdanto

Puujätteen kierrätystavoitteet ja niiden järkevyyt Suomen kaltaisessa metsävaltaisessa maassa ovat puhuttaneet pitkään Suomessa. Metsätaloudessa ja -teollisuudessa syntyy runsaasti hyvälaatuisia sivutuotteita, minkä vuoksi rakentamisessa syntyvälle puujätteelle tai puupakkausten jätteelle ei ole ollut juurikaan kysyntää kierrätysmateriaalina, vaan puujätteet on pääosin käytetty hyödyksi energiana. Energiana hyödyntämistä on pidetty perusteltuna vaihtoehtona uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämistä koskevien tavoitteiden saavuttamiseksi.

Voimassa olevassa jätedirektiivissä on asetettu tavoitteeksi, että 70 % rakennus- ja purkujätteestä tulisi kierrättää tai käyttää muutoin materiaalina hyödyksi vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen saavuttaminen on haastavaa Suomessa, jossa laajan puurakentamisen vuoksi puujätteen osuus rakennus- ja purkujätteestä on korkeampi kuin monissa muissa EU-maissa.

Pakkaus- ja pakkausjätedirektiivissä (94/62/EY) on puupakkausjätteelle asetettu tavoitteeksi vähintään 15 %:n kierrätysaste, joka Suomessa on viime vuosina juuri ja juuri saavutettu. Komissio esitti kuitenkin kesällä 2014 antamassaan jätedirektiivien muutosehdotuksessa (KOM (2014)397) puupakkausjätteen kierrätystavoitteen korottamista jopa 80 %:iin vuonna 2030. Komissio veti ehdotuksensa pois vuoden 2015 alussa ja on luvannut korvata sen uudella, tarkistetulla ehdotuksella vuoden 2015 loppuun mennessä.

Puujätteen kierrätystavoitteet ja niihin ehdotetut muutokset ovat herättäneet Suomessa laajaa huolta puujätteen kierrätyksen lisäämismahdollisuuksista. Puujätteen hyödyntämistä energiana on pidetty ympäristövaikutuksiltaan ja kustannuksiltaan kierrätystä parempana ratkaisuna Suomen kaltaisissa oloissa.

EU:n jätedirektiivissä (2008/98/EC) on säädetty viisiportaisesta etusijajärjestyksestä, jota kutsutaan myös jätehierarkiaksi. Sen mukaan jätelainsäädännössä ja -politiikassa on noudatettava seuraavaa järjestystä: Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä. Direktiivissä on kuitenkin todettu, että etusijajärjestyksestä voidaan poiketa silloin, kun se on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltua tietyn jätteen syntymistä ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten tarkastelun perusteella. Poikkeamisessa on ensisijaisesti otettava huomioon lain tarkoituksen kannalta parhaan tuloksen saavuttaminen. Lisäksi on otettava huomioon ympäristönsuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate sekä tekniset ja taloudelliset edellytykset noudattaa etusijajärjestystä.

Tuleviin direktiivimuutoksista käytäviin EU-neuvotteluihin vaikuttamiseksi ympäristöministeriö tilasi Suomen ympäristökeskukselta selvityksen, jossa arvioitiin elinkaariarviomenetelmällä puujätteen energiahyödyntämisen, käytön lastulevyteollisuudessa sekä puukomposiitin valmistuksen elinkaari-vaikutukset, jotta saataisiin jätedirektiivin edellyttämää selkeää tietoa puujätteen eri käsittelyvaihtoehtojen ympäristövaikutuksista.

## 2 Jätetilastot ja puujätteiden määrät Suomessa

Tilastokeskus laatii Suomen viralliset jätetilastot ja niissä raportoidaan jätteiden kertymät sektoreittain ja jätelajeittain. Suomessa syntyy tilastoituja puujätteitä kaikkiaan noin 3,4 miljoonaa tonnia vuodessa (Tilastokeskus 2014, Liite 1), määrä vastaa noin 3,4 % valtakunnallisesti syntyvistä jätemääristä. Tilastot osoittavat, että puujätteet ovat pääosin peräisin paperin valmistuksesta, sahatavaran valmistuksesta, energiantuotannosta ja rakentamisesta (Tilastokeskus 2014, Liite 1)

Kansalliset jätetilastot tuotetaan käyttäen ympäristölupavelvollisten yritysten velvoiteraportoinnin tuottamia aineistoja. Yritykset täyttävät tiedot valtakunnalliseen ympäristönsuojelun tietojärjestelmään (VAHTI) ja valvojat vahvistavat järjestelmään siirretyt tiedot. Myös pakkausjätteet näkyvät VAHTI-aineistoissa, mutta pakkausjätteiden viralliset tilastot syntyvät tuottajavastuuorganisaatioiden erikseen valvovalle viranomaiselle ilmoittamista tiedoista. Tilastokeskus laatii valtakunnalliseen ympäristönsuojelun tietojärjestelmään tallennetuista tiedoista yhteenvedon ja täydentää tietoja muilla aineistoilla.

Sekä rakennus- ja purkupuun että puupakkausjätteiden terminologiaan ja tilastointiin liittyy epäselvyyksiä, sillä rakentamisesta peräisin olevat jätteet saattavat esimerkiksi tilastoitua puutteellisesti muihin jäteluokkiin. Seuraavissa kappaleissa on esitetty puupakkaus- ja rakennuspuujätteiden määritelmiä ja tilastotietoja lyhyesti. Puujättemääriä on käsitelty laajemmin Myller (2015) raportissa, jossa testattiin sekalaista puujätettä erilaisten lopputuotteiden valmistuksessa.

### 2.1

#### **Puupakkausjätteet**

Puupakkaukset ovat yksi tuottajavastuun piiriin kuuluvista jätteistä. Nämä jätteet sisältyvät jätetilastoissa yhdyskuntajätteisiin ja sektorikohtaisesti ilmoitettuihin puujätteisiin. Puupakkausjätteiden tuottajien on vuosittain raportoitava markkinoille saatetut jätemäärät kansalliselle viranomaiselle, joka tuottajavastuu-jätteiden kohdalla on Suomessa Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus).

Puupakkauksia käytetään pääosin tavarankuljetuksissa ja niitä ovat esimerkiksi kuormalavat, kaapelikelat, tynnyrit ja laatikot, joista käytetyin on kuormalava (Ympäristöministeriön raportteja 28/2015, Myller, 2015). Pirkanmaan ELY-keskus laatii ja toimittaa Euroopan komissiolle pakkauksia ja pakkausjätteitä koskevan tilastoraportin vuosittain kesäkuussa. Raportteja on toimitettu vuoden 1997 tilastoista alkaen. Tilastot perustuvat tuottajien ja tuottajayhteisöiden vuosittain ilmoittamiin tietoihin. Tilastoihin liittyy jonkin verran epävarmuuksia ja niitä on käsitelty Myller (2015) ja Jokinen et al. (2015) raporteissa.

Vuonna 2013 markkinoille saatettu puupakkauksien kokonaismäärä oli noin 207 000 t, josta kierrätettiin 31 000 t ja energiahyödynnettiin 176 000 t. Kierrätykseen menevästä osuudesta kompostointiin ja maisemarakentamiseen ohjautui 9 900 t ja puupakkauksia korjattiin 21 000 t. (Ala-Viikari, sähköposti 30.3.2015)

Nykyinen puupakkausjätteiden kierrätysaste saavuttaa jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen (179/2012, jäteasetus) mukaisen 15 %:n tavoitteen. Kierrätysaste saavutetaan tällä hetkellä kierrättämällä puuta kompostin tukiaineeksi sekä korjaamalla puulavoja. Suomessa puupakkausjätettä ei käytetä lastulevyn valmistukseen, koska siihen on mahdollista käyttää metsä- ja sahateollisuuden parempilaatuista jätettä. Vuoden 2016 alkuun mennessä pakkausten tuottajan (pakattujen tuotteiden maahantuoja tai valmistaja) on järjestettävä kuitu- ja puupakkausjätteen erilliskeräys ja kierrätys siten, että tuottajan kierrättämän pakkausjätteen määrä suhteessa tämän markkinoille saattamien pakkausten määrään (*kierrätysaste*) on puupakkausjätteen osalta vähintään 17 painoprosenttia (VNA 518/2014).

## 2.2

### Rakentamisessa syntyvät puujätteet

Rakennusjätettä on kaikki rakentamisessa, korjaamisessa ja purkamisessa syntyvä jättemateriaali, kuten maa- ja kiviainekset, puu-, lasi- ja paperijäte sekä metalliromu. Suurin osa rakentamisen kokonaisjättemäärästä koostuu mineraaliaineksista, josta pääosa on maa-aineksia. Suurin osa rakentamisen puujätteistä syntyy talonrakentamisesta. Talonrakentamista ovat uudisrakentaminen, korjausrakentaminen sekä purkaminen. Tilastokeskus laatii rakennus- ja purkutoiminnan tuottamista puujättemääristä yhteenvedon ja pyrkii poistamaan samojen jäte-erien laskemista jätehuollon eri portaissa. (Myller, 2015)

Tilastokeskuksen jätetilastossa rakennusjätteestä noin 99 % on raskaita maa-aineksia. Jos maa-ainesjätettä ei oteta huomioon, muiden rakennusjätteiden määrä oli vuonna 2013 noin 224 000 tonnia, joista puujätteiden osuus oli noin 63 % eli 142 000 tonnia (Tilastokeskus 2014). Rakentamisen puujätteiden osuus kaikkien toimialojen puujätteistä on 4,2 % (Liite 1).

EU:n jätedirektiivi ja Suomen jäteasetus velvoittavat hyödyntämään materiaalina 70 % rakennusjätteistä vuoteen 2020 mennessä. Koska Suomen rakennusmateriaaleista on melko suuri osa puuta, tämän tavoitteen saavuttaminen on haastavaa. Rakennus- ja purkujätteessä oleva puu on usein likaantunutta sekä muuten soveltumaton kierrätystarkoituksiin. Rakentamisesta peräisin olevissa puumateriaaleissa on esimerkiksi pintakäsittelyaineita ja metallisia kiinnikkeitä, jotka vaikeuttavat uudelleenkäyttöä ja kierrättämistä. Uudelleenkäyttöä ja kierrätystä rakennusmateriaaleiksi rajoittavat myös rakennusmateriaaleille asetetut laatuvaatimukset. Puujätteen pääasiallinen hyödyntämistapa onkin ollut hyödyntäminen energiana. Tätä on pidetty perusteltuna vaihtoehtona uusiutuvien energialähteiden käytön edistämiseksi ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseksi.

## 3 Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen elinkaaritarkastelut

### 3.1

#### **Yleistä**

Elinkaariajattelu ja elinkaariarviointi ovat menetelmiä, joilla voidaan tuottaa monia eri kriteerejä huomioivaa tietoa päätöksenteon tueksi. Elinkaariarvioinnin toteutuksesta on olemassa kansainväliset standardit (ISO 2006), jotka perustuvat laajaan yhteisymmärrykseen menetelmän soveltamisesta. Elinkaariarviointia ja -ajattelua käytetään erityisesti modernissa ympäristöpolitiikassa ja yritysten päätöksenteossa, kun etsitään mahdollisimman kestäviä teolliseen tuotantoon ja kulutustottumuksiin liittyviä ja niitä ohjaavia ratkaisuja ja ohjauskeinoja.

Elinkaariarviointi on järjestelmäänalyttinen menetelmä ja sen tavoitteena on tunnistaa uuden tuotteen tai palvelun kaikki mahdolliset vaikutukset – sekä suorat prosessipäästöt että välilliset päästöt eli energian tuotannon, raaka-aineiden valmistuksen ja alkutuotannon luonnonvarojen käytön aiheuttaman ympäristökuormituksen. Kattavaan tuotteiden tai palveluiden elinkaariarviointitarkasteluihin sisällytetään tutkittavan toiminnan aiheuttamat välilliset heijastusvaikutukset muihin tuotantojärjestelmiin. Vaikutukset voivat olla joko päästöjä lisääviä tai päästöjä vähentäviä. Kun toimenpiteiden välilliset vaikutukset muissa järjestelmissä ovat päästöjä vähentäviä, niitä kutsutaan vältetyiksi prosesseiksi ja vältetyiksi päästöiksi ja vertailevan toiminnan kuvataan korvaavan näitä tuottamatta jääneitä tuotteita ja päästöjä.

### 3.2

#### **Aiemmat tutkimukset aiheesta**

Myllymaa ja Dahlbo (2012) ovat koonneet ja vertailleet kotimaisia elinkaariarviointien tuloksia ja toteavat puujätteistä, että hyvälaatuisen puun kierrätys on ympäristön kannalta järkevää, mikäli kierrätystuotteelle löytyy markkinat. Puun kierrätyksellä hiili voidaan sitoa pitkäaikaiseen varastoon ja näin vähentää lyhyen aikavälin ilmastomuutosvaikutuksia. Puujätteen polttaminen puolestaan on hyvä tapa hyödyntää puun energiasisältö bioperäisenä energialähteenä ja laadullisesti ongelmalliset puujätteet kannattaa polttaa. Puujätteille tunnistettiin työssä vain vähän kotimaisia kierrätyskonsepteja (käyttö lastu-/kuitulevynä, kompostin tukiaineena, muovikomposiittimateriaalina tai lannan kuivikeaineena), jotka kaikki ovat ns. downcyclingia - kierrättämistä alkuperäistä tuotetta vähempiarvoisiksi tuotteiksi. Lisäksi todettiin, että käytettävissä oli vain vähän kotimaista elinkaaritutkimusaineistoa, jota todettiin kaivattavan lisää. Tällä työllä tuotetaan siis kaivattua lisäaineistoa puujätteisiin liittyvän päätöksenteon tueksi.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty elinkaaritarkastelun perusteet ja tarkastelussa mukana olevat puujätteiden käsittelyvaihtoehdot ja laskennassa käytettävät lähtötiedot sekä tietolähteet. Vertailuun sisällytettävät käsittelyvaihtoehdot ovat puukomposiitin valmistus, lastulevyn valmistus sekä energiahyödyntäminen.

### 3.3

## Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät soveltamisala ja toiminnallinen yksikkö

Puujätteiden vaihtoehtoisten käsittelytapojen ympäristövaikutusten arviointi tehtiin käyttäen elinkaariarviointimenetelmää. Tarkastelussa laskettiin puujätteen eri käsittelyvaihtoehtojen ympäristövaikutukset sekä mahdolliset vältettävät prosessit, jos käsittelyssä syntyvillä tuotteilla korvataan jotakin nykytuotantoa. Laskentatyökaluna käytettiin SimaPro-elinkaarimallinnusohjelmaa, jonka avulla voidaan tarkastella useita ympäristövaikutusluokkia. Elinkaaritarkastelut tehtiin noudattaen yleisiä kriteerejä jätehuollon elinkaaritarkasteluissa (Myllymaa & Dahlbo, 2012). Tämän työn lähtökohtana on ollut vastata kysymykseen, ”mitkä ovat puujätteiden käsittelymenetelmien ympäristövaikutukset” ja vertailla käsittelyvaihtoehtojen aiheuttamia kuormituksia ja nettovaikutuksia toisiinsa. Tuloksia käytetään hyväksi EU:n jätedirektiivien muutoksesta käytävissä neuvotteluissa, joissa käsitellään mm. eri jätteille määriteltäviä kierrätystavoitteita, mutta myös mahdollisia kansallisia vapauksia näiden tavoitteiden määrittelyssä ja mahdollisuuksia huomioida jäsenmaiden teollisen toiminnan ja kulutuksen erityispiirteitä.

Tuloksiin sisällytettiin ympäristövaikutusluokista ilmastonmuutos, happamoituminen ja rehevöityminen. Nämä arvioitiin puun kaltaisen bioperäisen materiaalin ja sen välillisten vaikutusten kannalta keskeisimmiksi potentiaalisiksi vaikutusluokiksi. Elinkaariarviointimenetelmän yleisesti hyväksytyjen vaikutusmallitulkintojen mukaisesti bioperäisten CO<sub>2</sub>-päästöjen ei ajatella aiheuttavan ilmastonmuutosvaikutusta, koska hiilidioksidi sitoutuu biomassaan sen kasvaessa. Tämän takia puujätteen energiahyödyntämismallissa polton suorien päästöjen osalta ei oteta huomioon ilmastomuutosvaikutusta.

Elinkaariarvioinnissa määritellään toiminnallinen yksikkö, jota kohti tulokset lasketaan. Tässä tarkastelussa tulokset on laskettu yhtä käsittelyyn toimitettua puujätetonnin kohti, eli toiminnallisena yksikkönä on 1 t puujätettä.

### 3.4

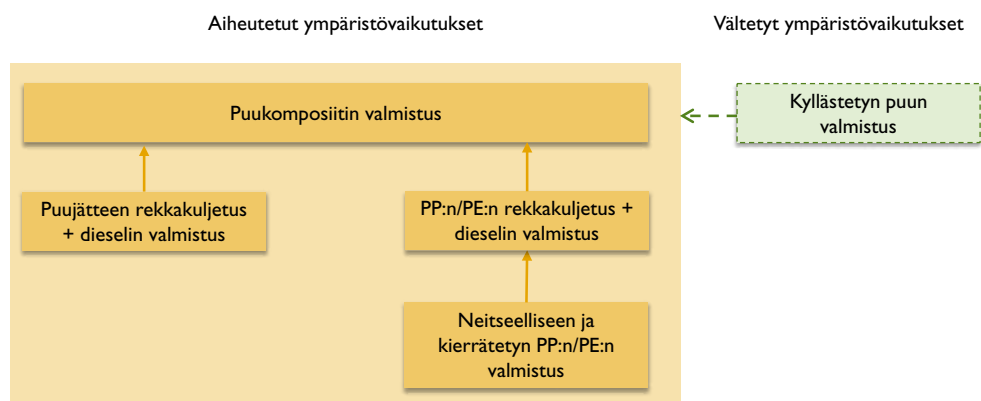
## Käsittelyvaihtoehto I: Puukomposiitin valmistus puujätteistä

Kun kaksi tai useampi fyysisiltä tai kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaisia materiaalia (yleensä lujite ja matriisi) yhdistetään ja tuloksena on toimiva kokonaisuus ilman että materiaalit sekoittuvat toisiinsa, tulosta kutsutaan komposiitiksi (Muoviteollisuus ry 2014). Muoveja käytetään yleisesti komposiiteissa johtuen niiden keveydestä. Puukomposiitilla tarkoitetaan tuotetta, johon on seostettu sekä puuta että muuta materiaalia. Muuna materiaalina käytetään yleisesti muovia ja markkinoilla on useita puu-muovikomposiittituotteiden tuottajia, jotka tuottavat etenkin lautoja ulkorakenteita varten. Terassilauta on puukomposiitin yleisin käyttötarkoitus, ja sen vuoksi se on valittu vaihtoehdoksi tässä tarkastelussa. Puukomposiitista valmistettu terassilauta korvasi tuotteena kyllästetystä puusta valmistettua vastaavaa tuotetta.

Puukomposiitin, joka sisältää sekä puuta että muovia, raaka-aineena voidaan käyttää sekä neitseellistä että kierrätettyä puuta ja muovia (Myller, 2015). Tässä tarkastelussa oletetaan, että puukomposiitista 60 % on kierrätettyä puukuitua, 30 % muovia, josta 50 % on neitseellistä polyetyyleeniä ja polypropyleeniä ja 50 % kierrätettyä muovia. Lisäksi 10 % puukomposiitista on UV-suoja-aineita, pigmenttiaineita ja tuotannon prosessin tukiaineita (UPM Profi, 2014; Findock, 2015). Näitä muita aineita ei ole sisällytetty tarkasteluun mukaan.

Kierrätysmuovin ympäristövaikutukset on arvioitu perustuen Väntsi & Kärki (2015) tutkimukseen. Sen mukaan kierrätysmuovin valmistuksen vaikutukset ovat ilmastonmuutokselle noin 5 %, rehevöitymiselle 42 % ja happamoitumiselle 20 % pienemmät kuin neitseellisen muovin valmistukselle.

Puukomposiitin valmistuksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 1 ja valmistuksessa käytettävät prosessit taulukossa 1. Puukomposiitin oletetaan korvaavaan kylästettyä terassilautaa, jonka paksuus on 0,025 m ja leveys 0,1 m. Kyllästetyn puun tiheydeksi oletetaan 450 kg/m<sup>3</sup>. Kyllästetyn puun valmistuksen kasvihuonekaasuinventaaritiedot on puolestaan esitetty taulukossa 2.



Kuva 1. Puukomposiitin valmistuksen prosessikuvaus. Keltaisella alueella rajatut prosessivaiheet aiheuttavat ympäristövaikutuksia, vihreällä rajatut prosessit kuvaavat mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Taulukko 1. Puukomposiitin valmistuksessa käytettävät prosessit

Prosessivaihe	Määrä/prosessi	Tietolähde	
<b>Muovi</b>	polyetyyleeni	Polyethylene, high density, (RER)   production Alloc Def, U	Ecoinvent
	polypropyleeni	Polypropylene, granulate (RER)   production   Alloc Def, U	Ecoinvent
	kierrätysmuovi	Kierrätetty PP/PE	Väntsi & Kärki (2015)
<b>Muovausvaihe</b>	Extrusion, plastic pipes {RER}   production   Alloc Def, U	Ecoinvent	
<b>Puujätteen/ muovin kuljetus</b>	muovin kuljetus	täysperävaunuyhdistelmä (40 t, täysi kuorma), 150 km	LIPASTO-tietokanta
	puujätteen kuljetus	täysperävaunuyhdistelmä (28 t, 70 %:n kuorma), 50 km	LIPASTO-tietokanta
	dieselin valmistus	Diesel, low-sulfur, Europe without Switzerland, market for   Alloc Def, U	Ecoinvent

Taulukko 2. Kyllästetyn puun inventaariotiedot (Korhonen & Dahlbo, 2007).

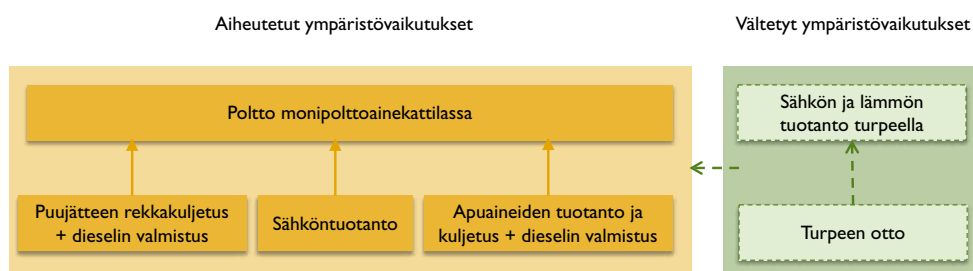
	Raaka-aineen hankinta	Tuotanto	Jätteenkäsittely	Kuljetus	Yhteensä
CO <sub>2</sub> [kg/100 m <sup>2</sup> ]	34,5	333	384	29,5	781
CH <sub>4</sub> [kg/100 m <sup>2</sup> ]		0,8528	0,0553		0,9082
N <sub>2</sub> O [kg/100 m <sup>2</sup> ]		0,0033	0,0121		0,0154

3.5

## Käsittelyvaihtoehto 2: Puun hyödyntäminen energiana

Puujätteen toisena käsittelyvaihtoehtona on tarkasteltu hyödyntämistä energiana. Myllerin (2015) mukaan, tyypillinen kierrätyspuumurskettä käyttävä voimalaitos on teollisuuden monipolttoainekattila, jossa kierrätyspuumurskettä poltetaan yhdessä muiden kiinteiden polttoaineiden kuten metsäbiomassan, turpeen ja kivihiilen kanssa. Kierrätyspuumurskettä käyttämällä voimalaitokset voivat vähentää ja korvata turpeen ja kivihiilen käyttöä.

Kierrätyspuumurskettä käyttävät voimalaitokset ovat yleensä leijupetikattiloita ja ne tuottavat sähköä, lämpöä ja höyryä riippuen paikallisesta energiatarpeesta. Jätepuun energiahyödyntämisen prosessikuvaus sekä aiheutetut että vältetyt ympäristövaikutukset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Jätepuun energiahyödyntämisen prosessikuvaus. Keltaisella alueella rajatut prosessivaiheet aiheuttavat ympäristövaikutuksia, vihreällä rajatut prosessit kuvaavat mahdollisia vältettäviä ympäristövaikutuksia.

Energiantuotannolla vältettävissä olevien päästöjen määrittämiseksi on arvioitava, miten uuden polttoaineen käytön lisääminen vaikuttaisi energiantuotantoon. Puuta poltetaan sekä suurissa biopolttoainelaitoksissa että pienissä lämpökattiloissa. Suurten polttolaitosten energiantuotanto vaikuttaa marginaalipolttoaineiden käyttöön, mutta pienten, kaukolämpöön liitettyjen polttolaitosten vaikutukset ovat tyypillisesti paikallisia ja uusi polttoaine tyypillisesti syrjäyttää jonkin laitoksen käytössä olleen polttoaineen (Myllymaa et. al. 20018).

Tässä tutkimuksessa käytettiin samoja oletuksia kuin Myllerin (2015) tutkimuksessa ja puuta oletettiin poltettavan monipolttoainekattilassa, jonka pääpolttoaine on turve, joka näin ollen valikoituu myös elinkaariarvioinnissa huomioon otavaksi vältetyksi polttoaineeksi. Tulosten tarkastelua on tehty myös arvioimalla puujätteiden polton elinkaaren kokonaisvaikutuksia tilanteessa, jossa vain osa tuotetusta lämpöenergiasta saadaan hyödynnettyä.

Puun poltossa syntyvien päästöjen ja tuotetun energian inventaariotiedot perustuvat Myllymaa et al. (2008) tutkimuksessa tuotettuun tietoon puun poltosta kattilassa, jossa käytetään polttoaineena 85 % puuta ja 15 % maakaasua (taulukko 3). Turpeen oton (taulukko 4) ja polton (taulukko 5) inventaariotiedot perustuvat myös Myllymaa et al. (2008) raportissa esitettyihin tietoihin.

Taulukko 3. Inventaariotiedot energian tuottamiseksi puusta kattilassa, jonka polttoaineina käytetään 85 % puuta ja 15 % maakaasua (Myllymaa et al. 2008). Huomioitu ainoastaan puusta saatava energia.

Syötteen	Määrä	Yksikkö	Tuotokset	Määrä	Yksikkö
Puujäte	1	t	Energia	8,6	GJ/t
Energiasisältö	10	GJ/t	CH <sub>4</sub>	0,0257	kg
Prosessisähkö	0,0007	GJ/t	N <sub>2</sub> O	0,0095	kg
			SO <sub>2</sub>	0	kg
			NO <sub>x</sub>	0,141	kg
			PM<2,5	0,0018	kg
			2,5<PM<10	0,0045	kg

Taulukko 4. Inventaariotiedot, joita on käytetty mallintamaan vältettyjä turpeen oton päästöjä (Myllymaa et al. 2008).

Syötteen	Määrä	Yksikkö	Tuotokset	Määrä	Yksikkö
Jyrsinturve	1	t	CO <sub>2</sub>	87,287	kg
			CH <sub>4</sub>	0,138	kg
			N <sub>2</sub> O	0,02	kg
			SO <sub>2</sub>	0,008	kg
			NO <sub>x</sub>	0,086	kg
			P,tot	0,00085	kg
			N,tot	0,024	kg

Taulukko 5. Inventaariotiedot, joita on käytetty mallintamaan vältettyjä turpeen polton päästöjä suuressa monipolttoainelaitoksessa, jonka polttoaineena käytetään turvetta (Myllymaa et al. 2008).

Syötteen	Määrä	Yksikkö	Tuotokset	Määrä	Yksikkö
Jyrsinturve	1	t	Sähkö	1,4	GJ
Energiasisältö	10,1	GJ/t	Lämpö, hyötykäytetty	7,5	GJ
Prosessisähkö	0,1	GJ/t	CO <sub>2</sub>	1070	kg
			CH <sub>4</sub>	0,013	kg
			N <sub>2</sub> O	0,112	kg
			SO <sub>2</sub>	11,41	kg
			NO <sub>x</sub>	7,14	kg
			PM<2,5	0,058	kg



## Käsittelyvaihtoehdot 3 A, B ja C: Puujätteen käyttäminen lastulevyn valmistuksessa

Yksi puujätteille käytetyistä kierrätystavoista on kierrätyspuun käyttäminen lastulevyn valmistuksessa. Lastulevy on puulastuista ja liimasta puristamalla tehty puulevy. Levyt voivat olla pinnoitettuja tai pinnoittamattomia ja niitä valmistetaan erilaisissa lujusluokissa. Levyjen käyttökohteita ovat sisäseinien ja kattojen verhoilut sekä latia-, ulkoseinä-, väliseinärakenteet. Niitä voidaan käyttää myös kantavissa rakenteissa laattapalkiston pintalevynä ja levyuumaisten palkin uumalevynä. Puusepänteollisuus käyttää lastulevyjä kalusteiden ja huonekalujen valmistuksessa. Pinnoitetuille levyille soveltuvia käyttökohteita ovat esimerkiksi kosteiden tilojen vesitiiviiden päällysteiden alusta, vesikatton aluskate, tuulensuoja ja valumuotti. (Rakennustieto Oy 2013)

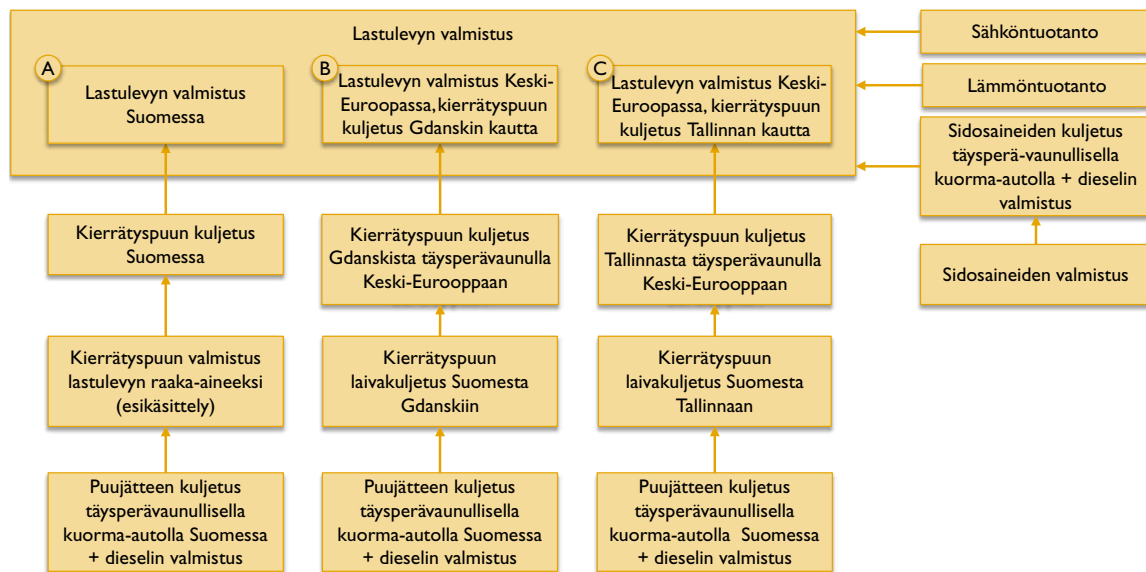
Lastulevyn valmistuksessa käytetään Suomessa puuhaketta tai sahanpurua, joita syntyy sivutuotteina sahateollisuudesta. Myös sekalaista jätetuuta voidaan käyttää lastulevyn raaka-aineena, mutta se ei sellaisenaan sovellu lastulevyn valmistusprosessiin, vaan sitä on muokattava vastaamaan laadultaan sahateollisuuden sivutuotteiden laatua. Lastulevystä noin 90 % on hakettua puuta ja 10 % liimaa ja muita sidosaineita. (Myllymaa et al. 2008)

Lastulevyn valmistuksen elinkaarilaskenta perustuu esikäsittelyn osalta Myllymaa et al. (2008) raportissa esitettyyn energiankulutustietoon. Valmistusvaiheen energiankulutus (josta vähennetty esikäsittelyn energiankulutus) sekä liima- ja sideaineet ja niiden määrät perustuvat Ecoinvent-tietokannan tietoihin. Lastulevyn valmistuksen inventaariotiedot on esitetty taulukossa 6.

Lastulevyn valmistusprosessiin sisällytetään kolme eri tuotantoketjuvertailua (kuva 3):

- Lastulevyn valmistus Suomessa
- Puujätteen laivakuljetus Tallinnaan, josta rekkakuljetus Keski-Euroopan tuotantolaitokselle
- Puujätteen laivakuljetus Gdanskiin, josta rekkakuljetus Keski-Eurooppaan tuotantolaitokselle

Aiheutetut ympäristövaikutukset



Kuva 3. Lastulevyn tuotannon prosessikuvaus. Keltaisella alueella rajatut prosessivaiheet aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Tarkasteluun ei ole sisällytetty vältettäviä prosesseja, koska lastulevyä ei valmisteta neitseellisestä puusta ja vältettyjä tuotantoketjuja ei siten ole tunnistettavissa.

Lastulevyn valmistuksen elinkaariarviointiin ei sisällytetä vältettäviä prosesseja, koska lastulevyt valmistetaan nykyisinkin sahateollisuuden sivutuotteista/jätteistä. Puujätteestä tuotettu lastulevy ei siten nykyisessä markkinatilanteessa korvaa neitseellisiä raaka-aineita kuten neitseellistä puuta. Jos lastulevyn markkinat tulevaisuudessa kasvaisivat suhteessa muihin rakennuslevyihin, tällöin valmis lastulevy voisi korvata tuotteena jostakin muusta materiaalista valmistetun rakennuslevyn. Tällainen lastulevymarkkinoiden kasvu ei kuitenkaan ole todennäköistä. Mikäli lastulevyjen markkinaosuus rakennuslevytuotteista kasvaisi, tulisi elinkaaritarkastelu täydentää vältetyn rakennuslevytuotteiden valmistuksen elinkaaritiedoilla.

Taulukko 6. Lastulevyn valmistuksen inventaaritiedot tietolähteittäin.

Prosessivaihe		Määrä/prosessi	Tietolähde
Esikäsitteily, sähkönkulutus		17,6 MJ	Myllymaa et al. (2008)
Valmistusvaihe	sähkönkulutus	Residual wood, dry (RER)  particle board production, uncoated, average glue mix 13,3 kWh/t, suomen keskimääräinen sähköntuotanto	Ecoinvent, SYKE
	lämmönkulutus	0,043 GJ/t, arinakattila	Ecoincent, Judl et al. 2014
	liima/sidosaine	0,0736 t/t ureaformaldehydi 0,0162 t/t melamiiniformaldehydiharts 0,0052 t/t metyleenidifenyylidi-isosyanaatti 0,005 t/t parafiini	Ecoincent
Liima/sidosaineiden kuljetus		täysperävaunuyhdistelmä (40 t), 300 km	LIPASTO-tietokanta
Dieselin valmistus		Diesel, low-sulfur, Europe without Switzerland, market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
A) Kuljetus (valmistus Suomessa)	puujätteen kuljetus Suomessa	täysperävaunuyhdistelmä (28 t, 70 %:n kuorma), 50 km	LIPASTO-tietokanta
	dieselin valmistus	Diesel, low-sulfur, Europe without Switzerland, market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
B) Kuljetus laivalla Puolaan ja rekkakuljetus tuotantolaitokselle	puujätteen kuljetus Suomessa	täysperävaunuyhdistelmä (28 t, 70 %:n kuorma), 50 km	LIPASTO-tietokanta
	Helsinki-Gdansk	Ropax, 18 solmua, trailerikapasiteetti 300, 785 km	LIPASTO-tietokanta
	dieselin valmistus	Diesel, low-sulfur, Europe without Switzerland, market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
	raskaan polttoöljyn valmistus	Heavy fuel oil {Europe without Switzerland}   market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
C) Kuljetus laivalla Viroon ja rekkakuljetus tuotantolaitokselle	puujätteen kuljetus tuotantolaitokselle	puoliperävaunuyhdistelmä (17,5 t, 70 %:n kuorma), 300 km	LIPASTO-tietokanta
	puujätteen kuljetus Suomessa	täysperävaunuyhdistelmä (40 t, 70 %:n kuorma), 50 km	LIPASTO-tietokanta
	Helsinki-Tallinna	Ropax, 18 solmua, trailerikapasiteetti 300, 80 km	LIPASTO-tietokanta
	dieselin valmistus	Diesel, low-sulfur, Europe without Switzerland, market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
	raskaan polttoöljyn valmistus	Heavy fuel oil {Europe without Switzerland}   market for   Alloc Def, U	Ecoinvent
	puujätteen kuljetus tuotantolaitokselle	puoliperävaunuyhdistelmä (17,5 t, 70 %:n kuorma), 1000 km	LIPASTO-tietokanta

## 4 Tuloksille laadittujen epävarmuus-tarkastelujen kuvaus

Puujätteitä hyödyntävien tuotejärjestelmien mallintamisessa käytetyt tiedot perustuvat edellä esitetyllä tavalla oletuksiin ja arvioihin eli aiempiin tutkimuksiin, kirjallisuuteen ja tietokantoihin. Käytettävissä ei ole ollut mittaustietoja todellisista yksittäisistä tehtaista ja prosesseista, joskaan nekin eivät yksittäisinä tietoina edustaisi prosesseista sellaisia, joista osa tapahtuu Suomessa ja osa muualla maailmalla. Tiettyjen tarkkaan määriteltyjen prosessien käyttäminen ei ottaisi huomioon eri tuotantolaitoksien ominaisuuksia. Jos taas halutaan tarkempia yhteen laitokseen kohdistuvia elinkaarilaskelmia, tulisi laskenta tehdä käyttäen mahdollisuuksien mukaan kunkin käsittelylaitoksen omia prosessitietoja.

Kirjallisuuteen ja tietokantoihin perustuvat tiedot ja oletukset tuovat elinkaarilaskelmiin epävarmuutta, joilla voi olla lopputuloksiin suurikin merkitys. Siksi laskelmiin liittyvät epävarmuustarkasteluilla voidaan parantaa tulosten luotettavuutta. Tavoitteena on tunnistaa kokonaisuudessa sellaiset muuttujat, joiden arvolla on suurin merkitys tuloksiin ja toisaalta joiden arvo itsessään on epävarmin.

Puujätteiden hyötykäyttöön liittyvissä laskelmista tunnistettiin mahdollisesti muuttuvat ja epävarmat prosessit. Tämän jälkeen näille prosesseille laadittiin Monte Carlo –simulointiin perustuvaa analyysiä käyttäen 20 000 iteraatiokierroksen kattava epävarmuustarkastelu, jossa epävarmoiksi tunnistettujen muuttujien arvoja muutettiin satunnaisina yhdistelminä annettujen vaihteluvälien rajoissa.

### **Puukomposiitin valmistuksen elinkaareissa tunnistetut epävarmuustekijät**

Komposiitin osalta epävarmoiksi todettiin tiedonkeruun pohjalta muoviseoksen koostumus, joka voi valmistajien mukaan olla sekä polyetyleenä että polypropyleeniä. Näin ollen muovilaadun suhdetta vaihdeltiin analyysissä. Komposiitin valmistuksessa käytetään todennäköisesti myös kierrätysmuovia, joten neitseellisen ja kierrätetyn muovin osuutta vaihdeltiin. Lisäksi muovin ja puujätteen kuljetusmatkoille asetettiin vaihteluvälit.

### **Puujätteen energiahyödyntämisen elinkaareissa tunnistetut epävarmuustekijät**

Puujätteen energiahyödyntämisvaihtoehdossa on tarkasteltu epävarmuustekijöinä vaihtoehtoisia vältettyjä prosesseja. Jos kierrätyspuumurskeella oletettaisiin korvattavan turvepolttoaineen sijaan metsäbiomassaa, olisivat poltosta aiheutuvat suorat päästöt samaa luokkaa kuin kierrätyspuumursketta käytettäessä ja siten vältettyjä päästöjä ei syntyisi. Metsäbiomassan korjuusta ja kuljetuksista aiheutuisi kuitenkin lisäksi välillisiä ympäristövaikutuksia. Koska tämän vaihtoehtoisen käsittelyn vaikutus tuloksiin on johdettavissa, tästä vaihtoehtoisesta oletuksesta ei tehty matemaattista Monte Carlo -mallinnusta.

Jos kierrätyspuumurske korvaisi turvepolttoaineen sijaan kivihiiltä, olisivat vältettävät polton suorat CO<sub>2</sub> -päästöt jonkin verran alhaisemmat turpeeseen verrattuna. Ecoinvent-tietokannan mukaan kivihiilen tuotannon CO<sub>2</sub> -päästöt Venäjällä (sisältäen hiilikaivokseen liittyvät toiminnot) ovat noin 84 kg/t ollen samaa suuruusluokkaa turpeen tuotannon CO<sub>2</sub> -päästöjen kanssa. Kivihiilen tuotannon päästöt kuitenkin vaihtelevat paljon riippuen tuotantomaasta. Lisäksi kivihiiltä korvattaessa tulisi huomioida laiva- juna ja rekkakuljetuksista aiheutuvat kuljetusten päästöt. Vältettävät päästöt todennäköisesti asettuisivat melko samalle viivalle turpeen kanssa. Koska tämänkin vaihtoehdoisen käsittelyn vaikutus tuloksiin on johdettavissa, vaihtoehtoa, jossa kierrätyspuumurske korvaisi kivihiiltä ei ole tarkasteltu matemaattisen Monte Carlo -mallinnuksen avulla.

Monte Carlo -simuloinnin muuttujaksi valittiin osuus, joka tuotetusta lämmöstä saadaan hyödynnettyä. Lisäksi puujätteen kuljetusmatkan vaihtelulle tehtiin sama oletus kuin komposiitin valmistuksessa.

### Lastulevyn valmistuksen elinkaareissa tunnistetut epävarmuustekijät

Lastulevyn valmistuksen elinkaareissa matemaattisesti tarkasteltavaksi valittiin kuljetusmatkat. Vaihteluvälit asetettiin Suomessa tapahtuvalle puujätteen kuljetukselle sekä Keski-Eurooppaan suuntautuvat täysperävaunun yhdistelmän ajaman matkan pituudelle. Taulukossa 7 on esitetty epävarmuustarkastelussa muutettavat parametrit ja lukuarvot.

Taulukko 7. Epävarmuustarkastelussa muutettavat parametrit prosesseittain.

Prosessivaihe		min-arvo	max-arvo	huom.
Komposiitin valmistus	polyetyleenin/ polypropyleenin suhde muoviseoksesta	0 %	100 %	muovin osuus komposiitista 30 %, josta polyetyleenin ja polypropyleenin suhde vaihtelee
	kierrätysmuovin suhde neitseelliseen verrattuna	0 %	100%	muovin osuus komposiitista 30 %, josta kierrätysmuovin osuus vaihtelee
	muovin rekkakuljetusmatka	100 km	300 km	polyetyleenin/ polypropyleenin kuljetus
	puujätteen rekkakuljetusmatka	20 km	300 km	
Energiähyödyntäminen	puujätteen rekkakuljetusmatka	20 km	300 km	
	lämmöntuotannon välttäminen turpeella tuotetulla lämmöllä	0 %	100 %	vaihdellaan osuutta, kuinka paljon puujätteellä tuotetulla lämmöllä voidaan korvata turpeella tuotettua lämpöä
Lastulevy, tuotanto Suomessa	puujätteen rekkakuljetusmatka	20 km	300 km	
Lastulevy, tuotanto K-E:ssä Tallinnan kautta	puujätteen rekkakuljetusmatka Suomessa	20 km	300 km	
	rekkakuljetus Tallinnasta K-E:aan.	800 km	1200 km	
Lastulevy, tuotanto K-E:ssä Gdanskien kautta	puujätteen rekkakuljetusmatka Suomessa	20 km	300 km	
	rekkakuljetus Gdanskista K-E:aan	50 km	500 km	

## 5 Elinkaariarvioinnin tulokset

### 5.1

#### **Yleistä elinkaariarvioinnin tulosten tulkinnasta**

Tulokset puujätteen eri käsittelyvaihtoehtojen potentiaalisista ympäristövaikutuksista tarkastelluissa vaikutusluokissa - ilmastonmuutos, happamoittavat vaikutukset ja rehevöittävät vaikutukset - on esitetty kuvissa 4 - 6.

Tarkasteltujen hyödyntämismuotojen elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia kuvaavat tulokset on esitetty kaksiosaisina pylväskuvina, joissa elinkaarivaiheet on esitetty eri väreillä. Vaiheet ovat samat, jotka on esitetty prosessikuvauksissa (kuvat 1 – 3)

Kuvien ylöspäin suuntautuvat pylväät kuvaavat prosessien suoria ympäristövaikutuksia. Alaspäin suuntautuvat pylväät kuvaavat ympäristövaikutuksia, jotka voidaan välttää, jos kyseisellä tuotteella (puukomposiitti) tai raaka-aineella (kierrätyspuuhake polttoaineena) korvataan oletettua nykytuotantoa. Komposiitin valmistuksella voidaan korvata kyllästettyä puuta, jonka tuotannon ympäristövaikutukset vältetään.

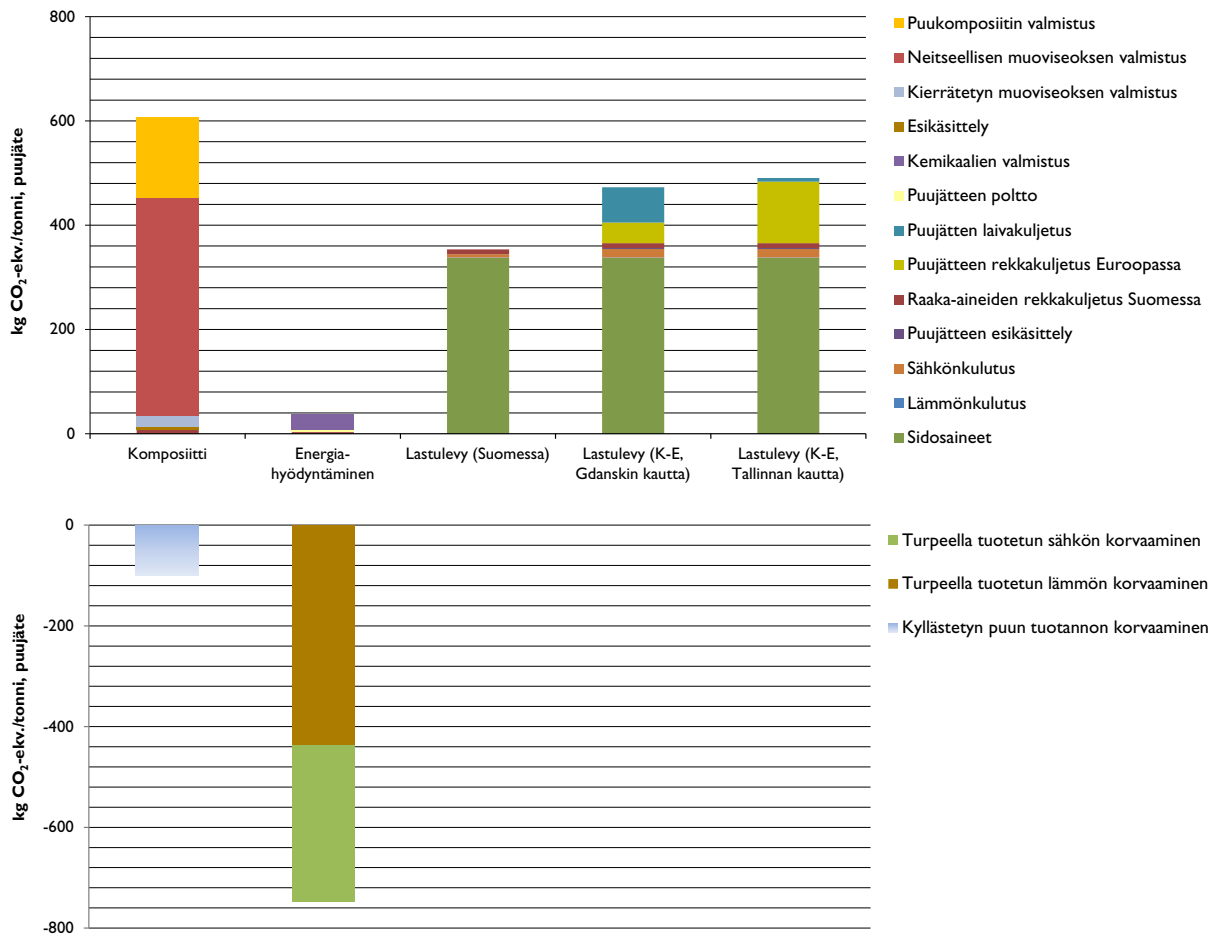
Kuvista voidaan todeta, että eri vaikutusluokkien tulokset ovat keskenään melko samansuuntaisia ja suurimmat erot ovat vältettävien päästöjen prosesseissa.

### 5.2

#### **Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutukset**

Puujätteiden käsittelyvaihtoehdoissa eniten suoria kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat prosessit ovat puumuovikomposiitin valmistuksessa käytetyn muovin tuotanto ja lastulevyn tuotannon sidosaineiden valmistus (kuva 4, ylöspäin osoittavat pylväät).

Käsittelyvaihtoehdoista eniten päästöjä voidaan välttää (kuva 4, alaspäin osoittavat pylväät), mikäli puuhaketta voidaan käyttää energiantuotannossa turpeen sijaan. Turvetta käytetään Suomessa tyypillisesti suurissa sähköä ja lämpöä tuottavissa monipolttoainekattiloissa, joihin puuhake soveltuu poltettavaksi sellaisenaan ja korvaavuus on tällöin hyvin selkeästi osoitettavissa. Turve on kasvihuonekaasupäästöiltään kuormittavin fossiilinen polttoaine, joten vältettävät päästöt ovat turpeen käyttöä korvattaessa suurimmillaan.



Kuva 4. Puujätteen käsittelyketjujen ilmastonmuutosvaikutukset elinkaarivaiheittain.

**Puukomposiitin valmistuksen** suurimmat ilmastonmuutosvaikutukset aiheutuvat neitseellisen muoviseoksen valmistusprosessista ja varsinaisesta komposiitin muovausvaiheesta, joka kuluttaa runsaasti energiaa. Tarkastelussa (kuva 4) on käytetty oletusta, että muovista 50 % on neitseellistä ja 50 % kierrätettyä. Kierrätetyn muovin ilmastonmuutosvaikutusten oletetaan olevan noin 5 % neitseellisen muovin valmistuksen vaikutuksista (Väntsi et Kärki, 2015). Mikäli kierrätysmuovin osuus olisi suurempi, ensiömuovin valmistuksesta aiheutuva kuormituksen vähenemä pienentäisi kokonaisvaikutusta.

Puujätteen hyödyntämisellä puukomposiitin valmistuksessa voidaan välttää kyllästetyn puun tuotantoa ja se näkyy alaspäin osoittavana ilmastonmuutosvaikutuspylväänä.

**Puujätteiden energianhyödyntämisen** suurimmat suorat ilmastonmuutosvaikutukset syntyvät savukaasujen puhdistuskemikaalien valmistuksesta ja polttolaitoksen suorista päästöistä. Energiahyödyntämisen avulla saavutettavissa olevat vältetyt päästöt ovat kuitenkin huomattavasti suoria päästöjä suuremmat. Vältetyt ilmastonmuutosvaikutukset saavutetaan hyödyntämällä puujäte energiana laitoksessa, jossa se korvaa turpeen käyttöä energialähteenä sähkön ja lämmön tuotannossa.

Turpeen korvaavuuteen liittyvien epävarmuuksien arvioimiseksi tuloksille on tehty laskennallinen epävarmuustarkastelu, jonka tulokset on esitetty luvun 6 nettopäästötarkasteluissa. Tarkastelussa on vaihdeltu sitä osuutta, kuinka paljon puujätteellä tuotetulla lämmöllä voidaan korvata turvetta (vrt. kohta 4, taulukko 7).

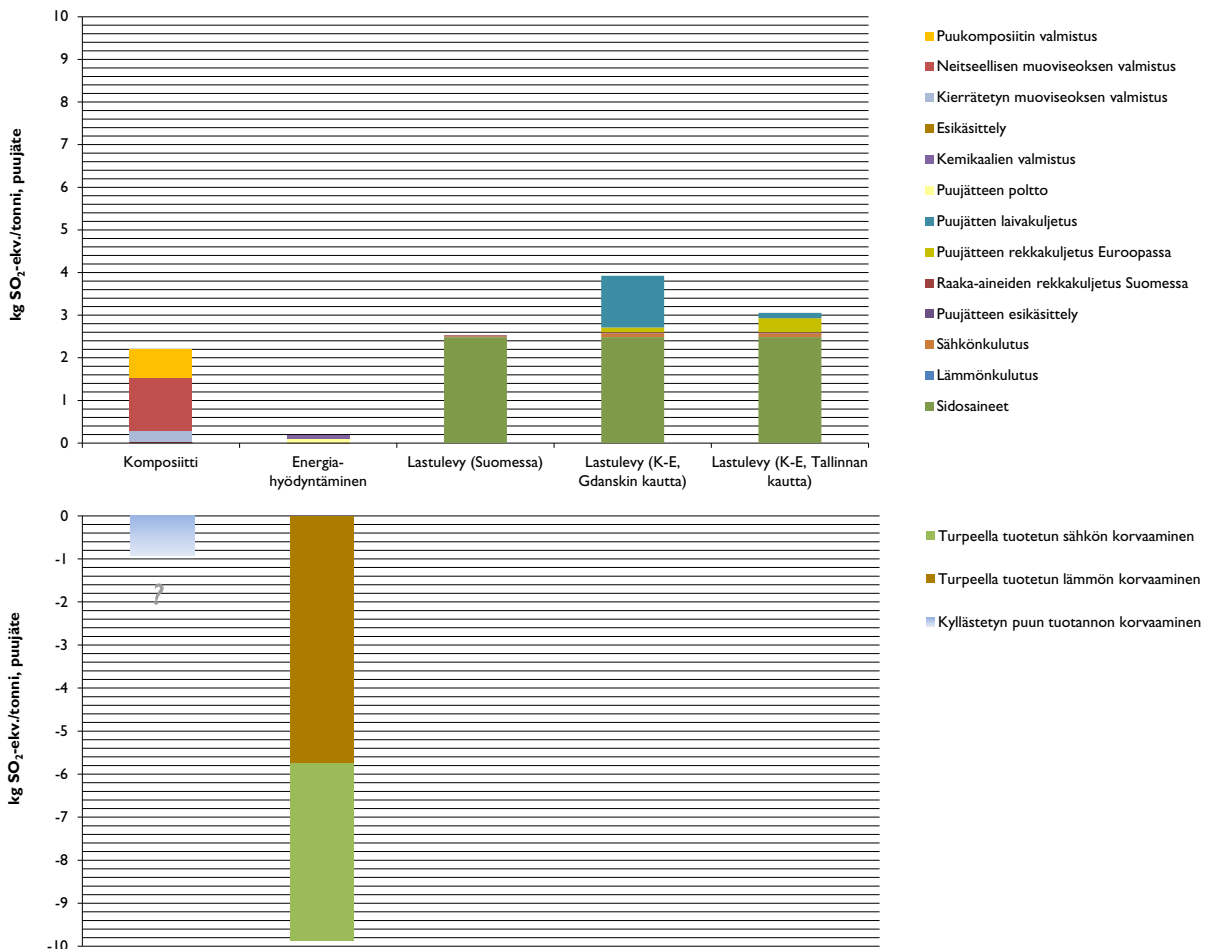
*Lastulevyn valmistuksen* suurimmat ilmastonmuutosvaikutukset syntyvät lastulevyssä käytettävien liimasidosaineiden valmistuksesta. Lisäksi tuloksista erottuvat kuljetuksen päästöt. Lastulevyn kuljetusreiteiltään erilaisista elinkaarivaihtoehdoista valmistus Suomessa (A) on selvästi vähiten kuormittava. Keski-Eurooppaan suuntautuvat vaihtoehdot (B ja C) poikkeavat kasvihuonekaasupäästöiltään toisistaan hyvin vähän. Laivakuljetuksista syntyy jonkin verran vähemmän päästöjä kuin maantiekuljetuksista, joten kuljettaessa Puolan kautta syntyy joitakin prosentteja vähemmän ilmastokuormitusta kuin Viron kautta kuljettaessa. Keski-Euroopassa valmistetun lastulevyn sähkönkulutuksen päästöt ovat Suomessa tuotettuun lastulevyyn verrattuna hieman korkeammat johtuen saastuvammasta sähköntuotantoprofiilista.

Puujätteen käytöllä lastulevyn tuotannossa ei arvioida vältettävän ilmastonmuutosvaikutuksia, koska lastulevy valmistetaan Suomessa jo tällä hetkellä sivutuotteena ja jätteenä syntyneistä puumateriaaleista ja korvaavuusketjuja ei siten ollut löydettävissä.

### 5.3

## Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen happamoittavat vaikutukset

Puujätteiden käsittelyvaihtoehdoissa eniten suoria happamoittavia päästöjä aiheuttavat prosessit ovat lastulevyn tuotannon sidosaineiden valmistus ja puumuovikomposiitin valmistuksessa käytetyn muovin tuotanto (kuva 5).



Kuva 5. Puujätteen käsittelyketjujen happamoitusvaikutukset elinkaarivaiheittain. Kysymysmerkki kuvaa kyllästetyn puun oletettuja happamoittavia vaikutuksia.

Käsittelyvaihtoehdoista eniten päästöjä voidaan välttää jälleen hyödyntämällä puuhaketta energiantuotannossa turpeen sijaan.

Suurin osa *puukomposiitin valmistuksen* happamoitusvaikutuksista aiheutuu neitseellisen muoviseoksen valmistusprosessista ja varsinaisesta komposiitin muovausvaiheesta, joka kuluttaa energiaa. Kuvassa esitetyssä tarkastelussa muovista 50 % on neitseellistä ja 50 % kierrätettyä, mutta kierrätetyn muovin happamoitusvaikutusten oletetaan olevan noin 20 % neitseellisen muovin valmistuksen vaikutuksista (Väntsi & Kärki, 2015).

Puukomposiitin valmistuksesta aiheutuvien vältettävien happamoitusvaikutusten tarkastelussa ei ole otettu huomioon kyllästetyn puun korvaamisesta aiheutuvia vaikutuksia, koska tarkastelussa käytetyt inventaariotiedot sisältävät ainoastaan kasvihuonekaasupäästöt. Oletettavaa kuitenkin on, että myös muita vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi on, vaikka taustatietoa näistä ei tätä selvitystä varten löytynyt. Nämä vaikutukset on merkitty kysymysmerkillä pylväskuviin. Kyllästetyn puun valmistuksella saattaa olla lisäksi joitakin ekotoksisia vaikutuksia, mutta ne kään eivät ole sisällyneet tarkasteluun.

*Puujätteen energiahöydyntämisestä* ei käytettyjen tietolähteiden mukaan juuri aiheudu happamoittavia vaikutuksia. Sen sijaan turve sisältää tyypeä, joten turpeen polton välttäminen vähentää merkittävästi happamoittavia päästöjä.

*Lastulevyn valmistuksen* happamoitusvaikutukset syntyvät pääosin sidosaineiden valmistuksesta. Lisäksi happamoittavia päästöjä syntyy sekä raaka-aineiden rekka- että laivakuljetuksista. Laivan päästötietoina on käytetty LIPASTO-tietokannan prosessia Ropax-alukselle, joka käyttää polttoaineena raskasta polttoöljyä (HFO). Vuoden 2015 alusta astui voimaan rikkidirektiivi (2012/33/EU), jonka mukaan polttoaineen enimmäisrikkipitoisuus saa olla 0,1 %. Tätä muutosta ei ole huomioitu tietolähteissä, joten laivakuljetusten nykyiset happamoittavat vaikutukset ovat todellisuudessa pienemmät.

#### 5.4

### **Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen rehevöittävät vaikutukset**

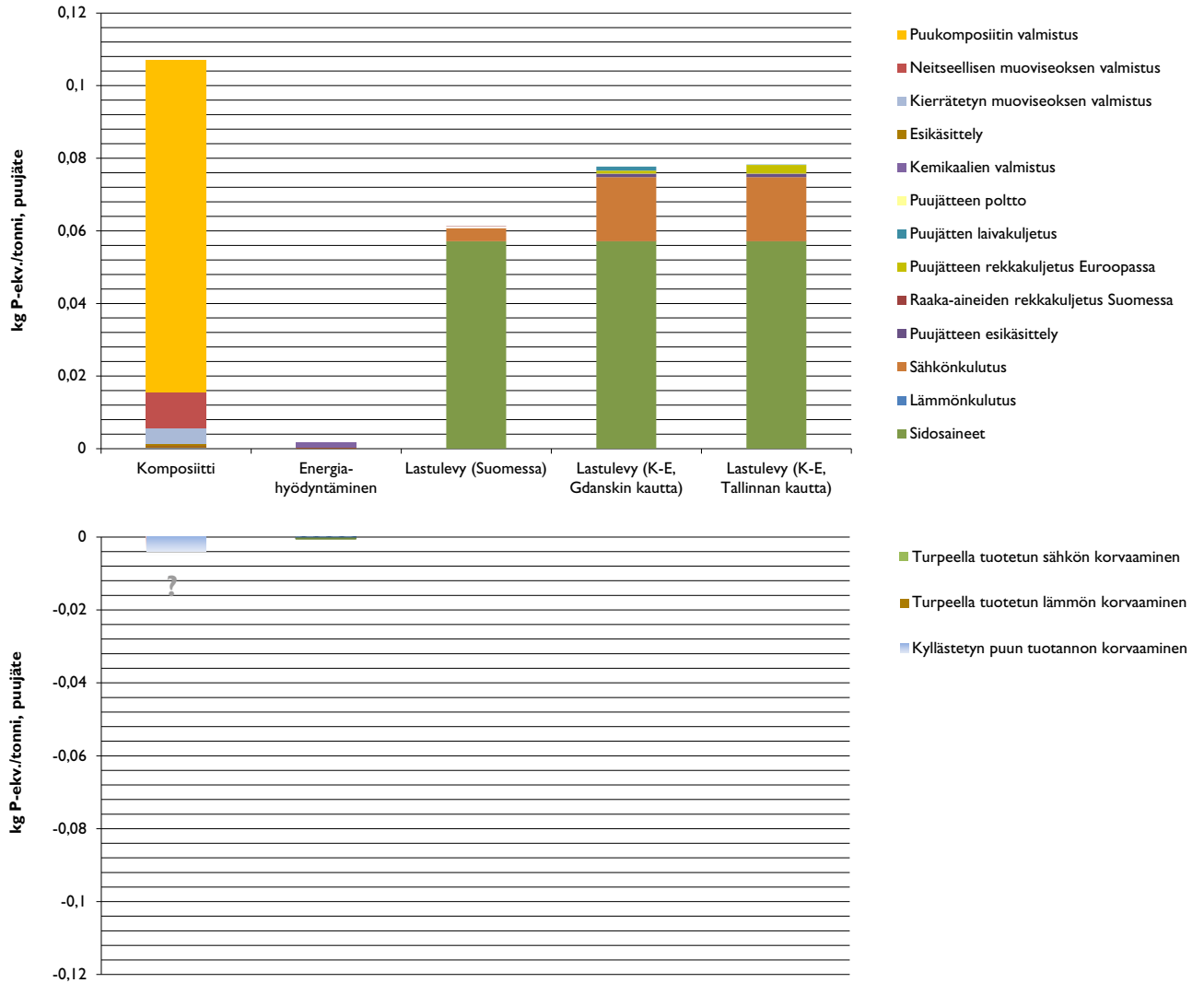
Puujätteen käsittelyvaihtoehdoissa eniten suoria rehevöittäviä päästöjä aiheuttavat prosessit ovat lastulevyn tuotannon sidosaineiden valmistus ja puumuovikomposiitin valmistuksessa käytetyn muovin tuotanto (kuva 6). Vältettyjä rehevöittäviä päästöjä ei ollut arvioituna käytetyissä tietolähteissä, joten vaihtoehtojen analyysi on tehtävä pelkkien suorien päästöjen perusteella. Oletettavaa kuitenkin on, että rehevöittäviä päästöjä saattaa syntyä myös niistä prosesseista joiden inventaariotietoihin niitä ei ole sisällytetty. Nämä mahdolliset vaikutukset on merkitty kysymysmerkillä kuviin.

*Puukomposiitin valmistuksen rehevöittävät vaikutukset* ovat muiden vaikutusluokkien kaltaisia, koska päästöt ovat energiaperäisiä ja syntyvät neitseellisen muoviseoksen valmistusprosessista ja varsinaisesta komposiitin muovausvaiheesta, joka kuluttaa paljon energiaa. Kuvassa esitetyssä tarkastelussa muovista 50 % on neitseellistä ja 50 % kierrätettyä, mutta kierrätetyn muovin rehevöitymisvaikutusten oletetaan olevan noin 42 % neitseellisen muovin valmistuksen vaikutuksista (Väntsi & Kärki, 2015). Vältettävien päästöjen osalta kyllästetyn puun korvaamisen vaikutukset rehevöitymiseen eivät näy tuloksissa, koska inventaariotiedot sisältävät ainoastaan kasvihuonekaasupäästöt.



*Puujätteen energiahyödyntämisessä rehevöittävät päästöt* syntyvät pääosin savukaasujen puhdistuskemikaalien valmistuksesta.

*Lastulevyn valmistuksen rehevöittävät päästöt* muodostuvat jälleen pääasiassa sidosaineiden valmistuksesta kuin myös prosessin sähkönkulutuksesta.



Kuva 6. Puujätteen käsittelyketjujen rehevöitymismisvaikutukset elinkaarivaiheittain. Kysymysmerkki kuvaa kyllästetyn puun oletettuja rehevöitymisvaikutuksia.

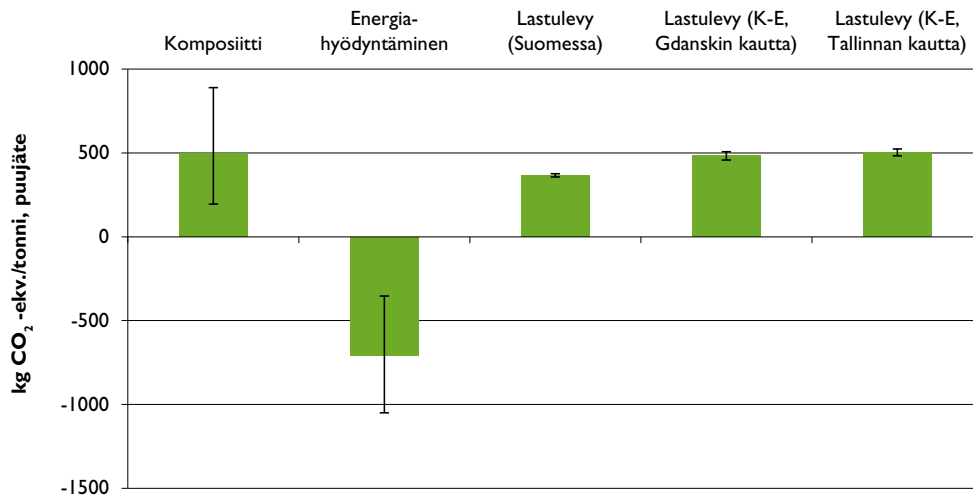
## Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset sekä epävarmuustarkastelun tulokset

Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettoympäristövaikutukset on esitetty kuvissa 7-9. Nettoympäristövaikutukset on saatu laskemalla yhteen kunkin kuvissa 4-6 esitetyn toimenpiteen aiheuttamat ympäristövaikutukset ja vältetyt ympäristövaikutukset. Lisäksi kuviin on lisätty vaihteluväli kuvaamaan epävarmuutta eli sitä, miten tulokset voivat epävarmuustarkastelun (Monte Carlo-analyysi) perusteella vaihdella, kun käytetään taulukossa 7 esitettyjä vaihtoehtoisia prosesseja tai hyödyntämisprosesseja vältettäville prosesseille.

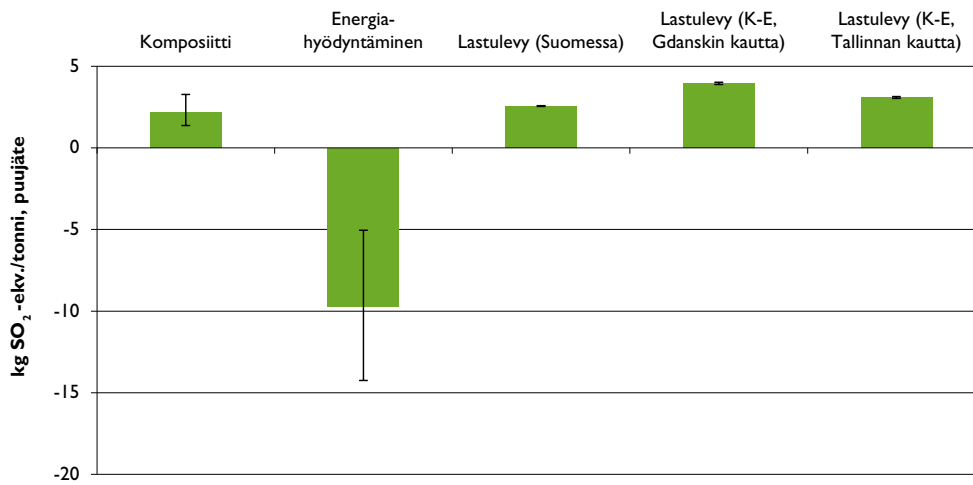
*Komposiitin valmistuksen* ympäristövaikutukset ovat eri vaikutusluokissa hyvin samansuuntaiset ja tulosten mukaan päästöjä syntyy kaikissa vaikutusluokissa enemmän kuin niitä vältetään ja nettopäästöpylväät ovat siis plus-merkkisiä. Tehty epävarmuustarkastelu kuitenkin osoittaa, että komposiitin valmistuksen tulokset ovat melko epävarmoja. Epävarmuustarkastelun osoittama suuri vaihtelu liittyy epävarmuuteen siitä, kuinka paljon valmistuksessa käytetään neitseellistä ja kierrätettyä muovia. Tarkastelussa ei oteta huomioon kierrätetystä puusta valmistetun puukomposiitin laatueroja neitseellisistä raaka-aineista valmistettuun komposiittiin nähden, mutta Myllerin (2015) mukaan on mahdollista, että kierrätysmateriaaleista valmistettu puukomposiitti ei olisi laadultaan yhtä kestävää kuin neitseellisistä puu- ja muoviraaka-aineista valmistettu tuote.

*Lastulevyn valmistuksen* ympäristövaikutukset ovat kaikissa ympäristövaikutusluokissa hyvin samankaltaiset: valmistus kotimaassa tuottaa vähemmän kuormitusta kuin kuljettaminen ulkomaille. Erot ulkomaille suuntaavien ketjujen nettovaikutuksissa ovat kuitenkin niin vähäiset, ettei niillä ole tieteellistä perustetta. Epävarmuustarkasteluilla tuotetuissa laskelmissa tulosten luotettavuus vaikuttaa hyvältä ja vaihteluväleissä ei ole juurikaan havaittavissa eroja, koska ainoa muutetuista parametreista on kuljetusmatka.

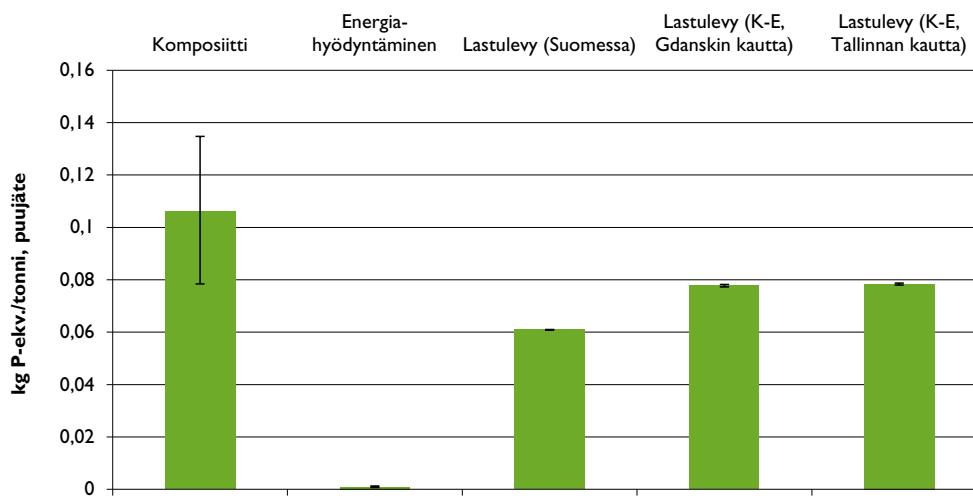
*Puujätteiden energiahöydyntämisen* nettovaikutukset vaihtelevat eri vaikutusluokissa. Puujätteiden polton ilmastonmuutosvaikutukset ja happamoittavat vaikutukset ovat korvattavia prosesseja pienemmät, joten saadaan säästöjä ja nettopylväät osoittavat alaspäin. Epävarmuustarkastelun tuloksena polttoprosessin tulokset osoittautuvat kuitenkin melko epävarmoiksi ja nettovaikutus riippuu voimakkaasti siitä, miten suuri osa jätteestä tuotetusta lämpöenergiasta saadaan todellisuudessa hyödynnettyä. Vaihteluväliin ei sisälly tarkastelua muiden vaihtoehtoisten energialähteiden (esim. kivihiili, metsäbiomassa) käytöstä, mutta muista fossiilisista polttoaineista on karkeasti arvioitavissa, että kivihiilellä tuotetun energian korvaus tuottaa lähes yhtä suuret vältetyt päästöt kuin turpeella, öljyllä tuotetun energian korvaaminen jo merkittävästi vähemmän ja maakaasulla tuotetun korvaaminen vähiten (Myllymaa ym. 2008). Vaikka huomioisi puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettotulosten epävarmuustarkastelun vaihteluvälin ääriarvot, puujätteen polttaminen vaikuttaisi vaihtoehtoista vahvimmalta. Tulos on samansuuntainen Euroopan komission julkaisemien ohjeiden kanssa, joissa todetaan, että polttaminen on usein suosituskäsittely (preferred route) puulle, mikäli se on helppo erotella ja energian tuotanto saadaan maksimoitua (European commission JRC 2011). Koska Suomessa on käyttöä myös lämpöenergialle, energian tuotannon maksimointi toteutuu hyvin todennäköisesti alueesta riippumatta.



Kuva 7. Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettoilmastonmuutosvaikutukset sekä epävarmuus-tarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 8. Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettohappamoitumisvaikutukset sekä epävarmuus-tarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.



Kuva 9. Puujätteen käsittelyvaihtoehtojen nettorehevytymisvaikutukset sekä epävarmuus-tarkastelun perusteella saatu tulosten vaihteluväli.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työssä on verrattu puujätteen käsittelyvaihtoehtojen elinkaaren aikaisia vaikutuksia kolmessa eri vaikutusluokassa: ilmastonmuutosvaikutus, happamoittavat vaikutukset ja rehevöittävät vaikutukset. Tarkastellut puujätteen hyödyntämismahdollisuudet ovat puujätteen käyttö puukomposiitista valmistetuissa terassilautoissa, jotka korvaavat kyllästettyä terassilautaa, puujätteen energiahyödyntäminen monipolttoainekattilassa turpeen sijaan ja puujätteen hyödyntäminen lastulevyn valmistuksessa joko Suomessa tai Keski-Euroopassa. Elinkaariarvioinnin tulokset perustuvat kirjallisuudesta, aiemmista kotimaisista elinkaaritarkasteluista ja tietokantojen inventaarioaineistoista saatuihin lähtöaineistoihin. Tulokset eivät siten kuvaa suoraan minkään yksittäisen käsittelylaitoksen vaikutuksia.

Puujätteen energiahyödyntämisen elinkaari rakennettiin olettaen sen korvaavan monipolttoainekattilassa käytettyä turvetta. Puun polton nettovaikutukset vaihtelevat eri vaikutusluokissa: puujätteen polton ilmastonmuutosvaikutukset ja happamoittavat vaikutukset ovat korvattavaa turpeenpolton elinkaarta pienemmät, kun taas rehevöittävien päästöjen nettovaikutukset asettuvat kutakuinkin nollan tuntumaan. Epävarmuustarkastelun tuloksena polttoprosessin tulokset osoittautuvat melko epävarmoiksi ja nettovaikutus riippuu voimakkaasti siitä, miten suuri osa jätteestä tuotetusta lämpöenergiasta saadaan todellisuudessa hyödynnettyä. Epävarmuustarkastelu ei sisällä tarkastelua muiden vaihtoehtoisten energialähteiden (esim. kivihiili, metsäbiomassa) korvaamisesta turpeen sijaan. Vaikka huomioisi puujätteen kaikkien käsittelyvaihtoehtojen nettotulosten epävarmuuksien vaihteluvälin ääriarvot, puujätteen polttaminen vaikuttaa tarkastelluista puujätteen hyödyntämismahdoista ympäristön kannalta vahvimmalta.

Puukomposiitin elinkaarenaikaiset nettopäästöt kaikissa vaikutusluokissa ovat positiiviset eli suuremmat kuin korvattavan kyllästetyn puun tuotannon vältetyt päästöt. Ympäristövaikutusten epävarmuustarkastelut osoittivat, että tulokset riippuvat voimakkaasti siitä, käytetäänkö valmistuksen raaka-aineena neitseellistä vai kierrätettyä muovia. Neitseellisen muovin valmistus on energiantensiivinen prosessi ja kierrätetyn muovin valmistusvaiheen päästöt ovat jokaisessa tutkimuksessa vaikutusluokassa pienempiä kuin neitseellisen muovin valmistuksen vaikutukset. Puukomposiitin valmistuksen kuormitus on sitä pienempi, mitä suurempi osa komposiittiin käytetystä muovista on kierrätettyä. Tarkastelussa on oletettu, että kierrätyspuusta ja kierrätysmuovista valmistettu tuote on käyttöikänsä yhtä hyvä kuin kyllästetystä puusta valmistettu tuote. Kyllästetyn puun valmistuksen happamoittavista ja rehevöittävästä päästöistä ei ollut käytettävissä inventaariotietoja. Ilmastonmuutoksen osalta puukomposiitin valmistus asettuu lastulevyn valmistuksen edelle mutta energiahyödyntämisen jälkeen, jos suurin osa käytetystä muovista on kierrätettyä.

Hyvälaatuiset puujätteet soveltuvat lastulevyn valmistukseen. Vallitseva markkinatilanne onkin jo se, että kaikki lastulevy valmistetaan teollisuuden puuperäisistä sivuvirroista ja jätteistä. Koska puujätteiden lisääntyvällä käytöllä lastulevyn valmistuksessa ei siten voitaisi korvata neitseellisiä raaka-aineita, lastulevyn valmistukseen ei kytkeydy vältettyjä prosesseja ja tulokset koostuvat ainoastaan suorista päästöistä. Jos lastulevymarkkinat kasvaisivat, lastulevyllä voisi mahdollisesti korvata jotakin muuta rakennuslevytuotetta, jolloin olisi tarkasteltava myös vältettäviä prosesseja uudelleen. Tällainen markkinoiden muutos ei ole kuitenkaan todennäköinen. Pakkaus- tai rakennuspuujätteen käyttäminen suomalaisen lastulevyteollisuuden ei ole nykyisin eikä todennäköisesti tulevaisuudessakaan käytännössä realistinen vaihtoehto jätteen käsittelylle, koska hyvälaatuista metsäteollisuuden jätettä on tähän tarkoitukseen Suomessa riittävästi. Pakkausjätteen ja rakennuspuujätteen markkinoita Keski-Euroopassa ei tässä selvityksessä tutkittu.

Jätepuun energiahyödyntäminen todettiin nettoympäristövaikutuksiltaan parhaimmaksi vaihtoehdoksi Suomessa kaikissa tutkituissa ympäristövaikutusluokissa. Korvaamalla puujätteellä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa voidaan vähentää energiantuotannon fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ja päästä lähemmäs annettuja ilmastotavoitteita. EU:n jätedirektiivin jätehierarkian mukaan jätteen kierrätys on ensisijaista jätteen energiana hyödyntämiseen nähden. Ympäristön kannalta parhaaseen lopputulokseen pääseminen voi kuitenkin direktiivin mukaan edellyttää poikkeamista tästä järjestyksestä, jos tämä on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltua jätteen syntymistä ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten osalta. Selvityksen perusteella voidaan arvioida, että energiahyödyntäminen Suomessa on puujätteelle perusteltu vaihtoehto ja se tuottaa elinkaari-vaikutuksiltaan paremman lopputuloksen selvityksessä tarkasteluihin kierrätysvaihtoehtoihin nähden. Tämä tulisi ottaa huomioon EU:n jätedirektiivien kierrätystavoitteiden asettamisessa ja puun kierrätysasteen laskentamenetelmiä määriteltäessä

## LÄHTEET

- Ala-Viikari, Jukka. 30.3.2015. Puupakkausjätteiden määristä [sähköposti].
- European Commission Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability  
2011. Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D)  
Waste Management. A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment  
(LCA). Saatavilla: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC65852>
- Findock, 2015. Puukomposiitti järjestelmät <http://www.findock.fi/findeck>
- Jokinen, Satu; Paavola, Olli ja Tanskanen, Juha-Heikki. 2015. Pakkausjätteen kokonaismäärä  
Suomessa ja suositukset tilastoinnin kehittämiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 23/2015.  
<http://hdl.handle.net/10138/156587>
- Judl, J., Koskela, S., Korpela, T., Karvosenoja, N., Häyrinen, A., Rantsi, J., 2014. Net environmental  
impacts of low-share wood pellet co-combustion in an existing coal-fired CHP (combined heat  
and power) production in Helsinki, Finland. Energy 77, 844-851, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.068>.
- Korhonen, Marja-Riitta & Dahlbo, Helena. 2007. Reducing Greenhouse Gas Emissions by Re-  
cycling Plastics and Textiles into Products (Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen muovina  
ja tekstiiliä kierrättämällä). The Finnish Environment 30/2007.
- LIPASTO-tietokanta. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajär-  
jestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/>
- Muoviteollisuus ry 2014. Komposiitit. <http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/>
- Myller, Eero. 2015. Sekalaisen puujätteen testaus erilaisten lopputuotteiden valmistuksessa.  
Projektin ohjausryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 28/2015. <http://hdl.handle.net/10138/158956>
- Myllymaa et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormi-  
tus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. <http://hdl.handle.net/10138/39792>
- Myllymaa & Dahlbo. 2012. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten  
tarkastelussa. Ympäristöministeriön raportteja 24/2012. <http://hdl.handle.net/10138/41347>
- Pirkanmaan ELY-keskus 26.8.2014. Pakkausjätetilastot. Markkinoille saatetut pakkaukset ja niiden  
hyödyntäminen vuosina 2003-2012. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Jatetilas-tot/Tuottajavastuun\\_tilastot/Pakkausjätetilastot](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Jatetilas-tot/Tuottajavastuun_tilastot/Pakkausjätetilastot).
- Pynnönen, 27.5.2015. Stora Enso Wood Products - Puujätteen hyödynnettävyys uusissa tuotteissa.  
Puujätteet kierrätykseen –seminaari. Esitys saatavilla: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Jat-teet/Tapahtuma\\_Puujatteet\\_kierratykseen\\_semin%2833145%29](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Jat-teet/Tapahtuma_Puujatteet_kierratykseen_semin%2833145%29)
- Rakennustieto Oy 2013. RT-kortti Lastulevyt. Rakennuslevyt. RT 22-11126. Infra 064-710127. Ra-  
kennustietosäätiö RTS 2013. [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyk-sia-ja-vastauksia/chipboard\\_lastulevy\\_-\\_rt-kortti\\_-\\_rakennuslevyt1.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/kysymyk-sia-ja-vastauksia/chipboard_lastulevy_-_rt-kortti_-_rakennuslevyt1.pdf)
- Tilastokeskus, 2014. Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto [verkkojulkaisu].  
ISSN=1798-3339. 2013, Liitetaulukko 2. Jätteiden kertymät toimialoittain ja jätelajeittain vuonna  
2013, tonnia . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 12.10.2015].  
Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/jate/2013/jate\\_2013\\_2015-05-28\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2013/jate_2013_2015-05-28_tau_002_fi.html)
- UPM ProFi, 2014. UPM ProFi Design Deck –komposiittiterassivalikoima. <http://www.upmprofi.fi/Pages/default.aspx>
- Väntsi, O., Kärki, T., 2015. Environmental assessment of recycled mineral wool and polypropylene  
utilized in wood polymer composites. Resources, Conservation and Recycling 104, Part A, 38-48,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.009>.

## Liite

Liite I. (Tilastokeskus 2014)	Jätelaji		
Puujätteiden määrät sektoreittain (Tilastokeskus 2014)	Puujätteet	Puujätteiden osuus sektorin jätteistä	Sektorin puujätteiden osuus koko puujättemäärästä
A Maatalous, metsätalous ja kalatalous	25	36 %	0,00 %
B Kaivostoiminta ja louhinta	-	0,00 %	0 %
10–12 Elintarvikkeiden, juomien ja tupakkatuotteiden valmistus	1 918	0,30 %	0,06 %
13–15 Tekstiilien, vaatteiden ja nahan ja nahkatuotteiden valmistus	50	0,60 %	0,00 %
16 Sahatavaran sekä puu- ja korkkituotteiden valmistus (pl. huonekalut); olki- ja punontatuotteiden valmistus	273 523	92,60 %	8,10 %
17–18 Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus, painaminen ja tallenteiden jäljentäminen	2 515 077	64,10 %	74,50 %
19 Kaksin ja jalostettujen öljytuotteiden valmistus	62	1,00 %	0,00 %
20–22 Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden, lääkeaineiden ja lääkkeiden sekä kumi- ja muovituotteiden valmistus	4 591	0,20 %	0,14 %
23 Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus	880	0,10 %	0,03 %
24–25 Metallien jalostus ja metallituotteiden valmistus (pl. koneet ja laitteet)	4 944	0,20 %	0,15 %
26–30 Tietokoneiden, elektronisten ja optisten tuotteiden, sähkölaitteiden, muiden koneiden ja laitteiden, moottoriajoneuvojen, perävaunujen ja puoliperävaunujen sekä puoliperävaunujen sekä muiden kulkuneuvojen valmistus	5 586	7,80 %	0,17 %
31–33 Huonekalujen ja muu valmistus, koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus	989	3,40 %	0,03 %
D Sähkö-, kaasu-, lämpö- ja ilmastointihuolto	286 273	24,30 %	8,48 %
36, 37 ja 39 Veden otto, puhdistus ja jakelu, viemäri- ja jätevesihuolto ja maaperän ja vesistöjen kunnostus ja muut ympäristön huoltopalvelut	94 592	4,20 %	2,80 %
38 Jätteen keruu, käsittely ja loppusijoitus, materiaalien kierrätys	408	0,30 %	0,01 %
F Rakentaminen	141 585	0,90 %	4,20 %
46.77 Jätteen ja romun tukkukauppa	2 067	1,90 %	0,06 %
Palvelut ja kotitaloudet	43 795	1,50 %	1,30 %
<b>Yhteensä</b>	<b>3 376 365</b>		

## KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto		<i>Julkaisu-aika</i> Joulukuu 2015	
<i>Tekijä(t)</i>	Kaisa Manninen, Jáchym Judl ja Tuuli Myllymaa			
<i>Julkaisun nimi</i>	<b>Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset</b>			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Ympäristöministeriön raportteja 29/2015			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Työssä on verrattu puujätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaaren aikaisia vaikutuksia kolmessa eri vaikutusluokassa: ilmastomuutosvaikutus, happamoittavat vaikutukset ja rehevöittävät vaikutukset. Tarkastellut puujätteen hyödyntämismavaihtoehdot ovat puujätteen käyttö puukomposiitista valmistetuissa terassilautoissa, jotka korvaavat kyllästettyä terassilautaa, puujätteen polttaminen monipolttoainekattilassa turpeen sijaan ja puujätteen hyödyntäminen lastulevyn valmistuksessa joko Suomessa tai Keski-Euroopassa. Elinkaariarvioinnin tulokset perustuvat kirjallisuudesta, aiemista kotimaisista elinkaaritarkasteluista ja tietokantojen inventaarioaineistoista saatuihin lähtöaineistoihin. Tulokset eivät siten kuvaa suoraan minkään yksittäisen käsittelylaitoksen vaikutuksia.</p> <p>Puukomposiitin elinkaarenaikaiset nettopäästöt kaikissa vaikutusluokissa ovat positiiviset eli suuremmat kuin korvautun kyllästetyn puun tuotannon vältetyt päästöt. Ympäristövaikutusten epävarmuustarkastelut osoittivat, että tulokset riippuvat voimakkaasti siitä, käytetäänkö valmistuksen raaka-aineena neitseellistä vai kierrätettyä muovia. Puukomposiitin valmistuksen kuormitus on sitä pienempi, mitä suurempi osa komposiittiin käytetystä muovista on kierrätettyä. Kyllästetyn puun valmistuksen happamoittavista ja rehevöittävästä päästöistä ei ollut käytettävissä inventaariotietoja. Ilmastonmuutoksen osalta puukomposiitin valmistus asettuu lastulevyn valmistuksen edelle mutta energiahyödyntämisen jälkeen, jos suurin osa käytetystä muovista on kierrätettyä.</p> <p>Hyvälaatuiset puujätteet soveltuvat lastulevyn valmistukseen. Vallitseva markkinatilanne onkin jo se, että kaikki lastulevy valmistetaan teollisuuden puuperäisistä sivuvirroista ja jätteistä. Koska puujätteiden käyttäminen lastulevyn valmistuksessa ei siten korvaa neitseellisiä raaka-aineita, lastulevyn valmistukseen ei kytkeydy vältettyjä prosesseja ja tulokset koostuvat ainoastaan suorista päästöistä.</p> <p>Jätepuun energiahyödyntäminen todettiin nettoympäristövaikutuksiltaan parhaimmaksi vaihtoehdoksi Suomessa kaikissa tutkituissa ympäristövaikutusluokissa. Korvaamalla puujätteellä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa voidaan myös vähentää energiatuotannon fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ja päästä lähemmäs annettuja ilmastotavoitteita. EU:n jätedirektiivin jätehierarkian mukaan jätteen kierrätys on ensisijaista jätteen energiana hyödyntämiseen nähden. Ympäristön kannalta parhaaseen lopputulokseen pääseminen voi kuitenkin direktiivin mukaan edellyttää poikkeamista tästä järjestyksestä, jos tämä on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltua jätteen syntymistä ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten osalta. Selvityksen perusteella voidaan arvioida, että energiahyödyntäminen Suomessa on puujätteelle perusteltu vaihtoehto ja se tuottaa elinkaari-vaikutuksiltaan paremman lopputuloksen selvityksessä tarkasteluihin kierrätysvaihtoehtoihin nähden. Tämä tulisi ottaa huomioon EU:n jätedirektiivien kierrätystavoitteiden asettamisessa ja puun kierrätysasteen laskentamenetelmiä määriteltäessä.</p>			
<i>Asiasanat</i>	rakennusjätteet, puujäte, pakkausjätteet, elinkaarianalyysi, jätteet, ympäristövaikutukset			
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Ympäristöministeriö			
	ISBN 978-952-11-4473-8 (PDF)		ISSN 1796-170X (verkkokj.)	
	<i>Sivuja</i> 32	<i>Kieli</i> suomi	<i>Luottamuksellisuus</i> julkinen	
<i>Julkaisun myynti/jakaja</i>	Julkaisu on saatavana vain internetistä: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Ympäristöministeriö			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Helsinki 2015			



## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Miljövårdsavdelningen	Datum December 2015
Författare	Kaisa Manninen, Jáchym Judl och Tuuli Myllymaa	
Publikationens titel	<b>Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset</b> (Livscykelanalys av olika sätt att behandla träavfall från byggande och avfall från träförpackningar)	
Publikationsserie och nummer	Miljöministeriets rapporter 29/2015	
Sammandrag	<p>I detta arbete jämförs alternativa sätt att behandla träavfall och deras miljöpåverkan under hela livscykeln. Påverkan har indelats i tre kategorier: påverkan på klimatförändringen, försurningspåverkan och övergödningspåverkan. De studerade alternativen för återvinning av träavfall är användning av träavfall i trallar av träkomposit för altaner, som ersätter impregnerat altanvirke, förbränning av träavfall i flerbränslepanna i stället för förbränning av torv samt återvinning av träavfall vid framställning av spånplattor antingen i Finland eller i Centraleuropa. Resultaten av livscykelanalysen baserar sig på de källmaterial man fått via litteraturen, tidigare finländska livscykelstudier och inventeringsmaterial i olika databaser. Resultaten beskriver därför inte direkt vilka verkningar enskilda behandlingsanläggningar har.</p> <p>Nettoutsläppen under träkompositens hela livscykel är i samtliga kategorier positiva, dvs. större än utsläppen från produktionen av det impregnerade trä man ersätter. Studier av osäkerhetsfaktorerna när det gäller miljöpåverkan visade att resultaten i hög grad är beroende av om man i framställningen använder jungfrulig eller återvunnen plast som råvara. Ju större andel återvunnen plast man använder i kompositen, desto mindre är belastningen av kompositframställningen. Det fanns inte några inventarieuppgifter att tillgå om de försurande och övergödande utsläpp som uppkommer vid framställning av impregnerat trä. I fråga om påverkan på klimatförändringen placerar sig framställningen av träkomposit före framställningen av spånskivor, men efter energiåtervinning, om största delen av den plast som används är återvunnen.</p> <p>Träavfall av god kvalitet lämpar sig för framställning av spånskivor. I det rådande marknadsläget tillverkas de facto alla spånskivor av träbaserade sidostrommar och avfall från industrin. Eftersom det träavfall som används vid framställning av spånskivor därmed inte ersätter jungfruliga råvaror, är framställningen av spånskivor inte kopplad till processer som undviks, och resultaten inbegriper endast direkta utsläpp.</p> <p>Vad nettomiljöpåverkan beträffar konstaterades energiåtervinning av avfallsvirke vara det bästa alternativet i alla de undersökta kategorierna av miljöpåverkan i Finland. Genom att ersätta fossila bränslen med träavfall i energiproduktionen kan man även minska de fossila koldioxidutsläppen i energiproduktionen och närma sig de klimatmål som ställts upp. Enligt avfallshierarkin i EU:s avfallsdirektiv är materialåtervinning primär i förhållande till energiåtervinning av avfall. För att nå det bästa slutresultatet ur miljösynpunkt kan det dock enligt direktivet krävas avvikelser från hierarkin, när det är motiverat med hänsyn till livscykelutsläppet avseende den allmänna påverkan av generering och hantering av avfall. Med stöd i en utredning kan det bedömas att energiåtervinning är ett motiverat alternativ när det gäller träavfall i Finland och att den i fråga om livscykelpåverkan ger bättre slutresultat jämfört med de återvinningsalternativ som studerats i utredningen. Detta bör beaktas när det ställs upp återvinningsmål i de EU-direktiv som rör avfallsbranschen och när metoderna för beräkning av verkets återvinningsgrad fastställs.</p>	
Nyckelord	byggavfall, träavfall, förpackningsavfall, livscykelanalys, avfall, miljöpåverkan	
Finansiär/uppdragsgivare	Miljöministeriet	
	ISBN 978-952-11-4473-8 (PDF)	ISSN 1796-170X (online)
	Sidantal 32	Språk Finska
		Offentlighet Offentlig
Beställningar/distribution	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>	
Förläggare	Miljöministeriet	
Tryckeri/tryckningsort och -år	Helsingfors 2015	

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Environmental Protection Department	<i>Date</i> December 2015
<i>Author(s)</i>	Kaisa Manninen, Jáchym Judl and Tuuli Myllymaa	
<i>Title of publication</i>	<b>Rakentamisen puujätteen ja puupakkausjätteen käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset</b> (Life cycle environmental impacts of different construction wood waste and wood packaging waste processing methods)	
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Ministry of the Environment 29/2015	
<i>Abstract</i>	<p>This study compared the life cycle environmental impacts of different wood waste processing methods in three impact categories: climate impact, acidification impacts and eutrophication impacts. The wood waste recovery methods examined were the use of wood waste in terrace boards made out of wood composite which replace impregnated terrace boards, incineration of wood waste in a multi-fuel boiler instead of peat and the use of wood waste in the production of particleboard in either Finland or Central Europe. The results of the life cycle analysis are based on source materials derived from literature, previous Finnish life cycle assessments and database inventory materials. As such, the results do not directly illustrate the impacts of any individual processing facility.</p> <p>The net life cycle emissions of wood composite were positive in all impact categories, meaning that the emissions were higher than the emissions avoided in the production of the replaced impregnated wood. The uncertainty assessments of the environmental impacts show that results are strongly dependent on whether the plastic used in production is virgin or recycled plastic. In other words, the environmental load of wood composite production is inversely proportional to the share of recycled plastic used to produce the composite. No inventory data was available on the acidification impacts and eutrophication impacts of the production of impregnated wood. The climate impact of wood composite production is lower than that of particleboard production but higher than that of energy recovery, as long as the plastic used in production consists primarily of recycled plastic.</p> <p>High-quality wood waste is suitable for the production of particleboard. In fact, in the current market situation all particleboards are produced from industrial wood side streams and waste. Since using wood waste in the production of particleboard does not therefore replace virgin raw materials, no processes are avoided and the results consist only of direct emissions.</p> <p>The energy recovery of wood waste was found to be the best option in Finland in regard to net environmental impacts in all environmental impact categories. Using wood waste to replace fossil fuels in energy production can also reduce the carbon-dioxide emissions resulting from energy production and facilitate the realisation of set climate objectives. According to the EU's Waste Framework Directive, re-use and material recycling should be preferred to energy recovery from waste. However, according to the Directive reaching the best overall environmental outcome may require specific waste streams departing from the hierarchy where this is justified by life cycle thinking on the overall impacts of the generation and management of such waste. Based on this study, the energy recovery of wood waste is a justified option in Finland and results in an overall better environmental outcome in regard to life cycle impacts compared to the other recycling methods examined. This should be taken into consideration in the setting of recycling targets based on the EU's waste directives and in the definition of calculation methods for the recycling rate of wood.</p>	
<i>Keywords</i>	construction waste, wood waste, packaging waste, life cycle analysis, waste, environmental impacts	
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment	
	ISBN 978-952-11-4473-8 (PDF)	ISSN 1796-170X (online)
	<i>No. of pages</i> 32	<i>Language</i> Finnish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available on the internet: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2015	



Työssä on verrattu puujätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaaren aikaisia vaikutuksia kolmessa eri vaikutusluokassa: ilmastonmuutosvaikutus, happamoittavat vaikutukset ja rehevöittävät vaikutukset. Tarkastellut puujätteen hyödyntämisvaihtoehdot ovat puujätteen käyttö puukomposiitista valmistetuissa terassilautoissa, jotka korvaavat kyllästettyä terassilautaa, puujätteen polttaminen monipolttoainekattilassa turpeen sijaan ja puujätteen hyödyntäminen lastulevyn valmistuksessa joko Suomessa tai Keski-Euroopassa.

Jätepuun energiahyödyntäminen todettiin nettoympäristövaikutuksiltaan parhaimmaksi vaihtoehdoksi Suomessa kaikissa tutkituissa ympäristövaikutusluokissa. Korvaamalla puujätteellä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa voidaan myös vähentää energia- tuotannon fossiilisia hiilidioksidi-päästöjä ja päästä lähemmäs annettuja ilmastotavoitteita. EU:n jätedirektiivin jätehierarkian mukaan jätteen kierrätys on ensisijaista jätteen energian hyödyntämiseen nähden. Ympäristön kannalta parhaaseen lopputulokseen pääseminen voi kuitenkin direktiivin mukaan edellyttää poikkeamista tästä järjestyksestä, jos tämä on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltua jätteen syntymistä ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten osalta. Selvityksen perusteella voidaan arvioida, että energiahyödyntäminen Suomessa on puujätteelle perusteltu vaihtoehto ja se tuottaa elinkaarivaikutuksiltaan paremman lopputuloksen selvityksessä tarkasteluihin kierrätysvaihtoehtoihin nähden. Tämä tulisi ottaa huomioon EU:n jätedirektiivien kierrätystavoitteiden asettamisessa ja puun kierrätysasteen laskentamenetelmiä määriteltäessä.



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment