



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 110/2020

Biopohjaisten eristemateriaalien LCA

Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hankkeen TP3
tutkimusraportti

Marja Jallinoja, Lasse Aro ja Ilkka Leinonen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 110/2020

Biopohjaisten eristemateriaalien LCA

Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hankkeen TP3:n
tutkimusraportti

Marja Jallinoja, Lasse Aro ja Ilkka Leinonen

Rahoittajat:



Viittausohje:

Jallinoja, M., Aro, L. & Leinonen, I. 2020. Biopohjaisten eristemateriaalien LCA : Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -projektin TP3:n tutkimusraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 110/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s.



ISBN 978-952-380-138-7 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-138-7>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Marja Jallinoja, Lasse Aro ja Ilkka Leinonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisu vuosi: 2020

Kannen kuva: Vastavalo.fi, Kuvankäsittely Design Inspis, Käyttöoikeus (lisenssi) OAMK PaiBiRa-hanke

Tiivistelmä

Marja Jallinoja¹⁾, Lasse Aro²⁾ ja Ilkka Leinonen¹⁾

¹⁾Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²⁾Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkätie 4 A, 20520 Turku

Tämä tutkimus tehtiin Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit -hankkeen työpaketina 3. Hankkeen päätoteuttajana toimi Oulun ammattikorkeakoulu Oy. Tässä tutkimuksessa selvitettiin elinkaari-analysimenetelmää (LCA) käyttäen kuuden eri eristemateriaalin tuotantoketjun ympäristövaikutuksia ns. kehdosta tehtaan portille. Menettely sisältää kaikkien raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä näiden kuljetukset ketjun eri vaiheissa, kulutetun verkkosähkön ja muun energian tuotannon, tuotannossa syntyvien jätteiden käsittelyn sekä itse tuotteen tuotantoprosessin siihen pisteeseen, kun valmis tuote lähtee tehtaan portilta eteenpäin.

Tutkitut eristemateriaalit olivat selluvilla, kutterinlastu, irtoturve ja irtorahkasammal sekä levytuotteina turve ja turve-rahkasammal-sekoite. Ympäristövaikutuksista tarkasteltiin fossiilista ilmastovaikutusta, primäärienergian kulutusta, uusiutuvien materiaalien kulutusta sekä vesijalanjälkeä. Lisäksi laskettiin ilmastovaikutus sille, että tuotteet käytöstäpoiston jälkeen käytetään energiantuotannossa ja niillä korvataan jyrshinturvetta. Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m²K. Lämmönläpäisykerroin valinnan perustana on Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksistä, jossa ulkoseinän kerroin vertailuarvoksi on asetettu 0,17 W/m²K.

Selvästi pienin fossiilinen ilmastovaikutus ja primäärienergiankulutus oli selluvilla ja kutterinlastulla. Molempien tuotteiden raaka-aine on valmiiksi kuivaa ja sen prosessointi eristeeksi kuluttaa vähän energiaa. Lisäksi raaka-aineen tuotannon ympäristövaikutukset ovat pienet, sillä selluvilla valmistetaan keräyspaperista eikä sille laskennassa kohdisteta lainkaan alkuperäisen paperin valmistuksen ympäristövaikutuksia. Vastaavasti kutterinlastulle, joka on höyläyksen vähäarvoinen sivutuote, kohdistetaan käytetyn taloudellisen allokoinnin mukaisesti vain hyvin pieni osa höyläsahatavaran tuotannon ympäristövaikutuksista.

Suurimmat ympäristövaikutukset olivat turve- ja rahkasammallevyillä. Niiden valmistus on energiain-
tensiivistä, mutta on huomioitava, että valmistus tapahtui koetuotantona eikä prosessia ole vielä energiakäytön suhteen optimoitu. Valtaosa fossiilisesta ilmastovaikutuksesta syntyi energialähteenä käytetystä nestekaasusta. Energiakulutus oli kaiken kaikkiaan selvästi suurempaa kuin muilla eristeillä.

Turpeesta ja rahkasammalesta tehtyjen irtoeristeiden ilmastovaikutus ja energiakulutus olivat selvästi pienemmät kuin levytuotteilla, mutta silti moninkertaiset verrattuna selluvillaan ja kutterinlastuun. Näiden tuotteiden ilmastovaikutuksesta merkittävä osa muodostuu raaka-aineen tuotantoalueella.

Vesijalanjälki oli kaikilla tuotteilla pieni. Käytetty AWARE-menetelmä huomioi vesivarojen maantieteellisen niukkuuden, jota Suomessa ei juurikaan ole.

Asiasanat: eriste, rakentaminen, kutterinlastu, selluvilla, turve, rahkasammal, hiilijalanjälki, ympäristövaikutukset, elinkaarianalyysi, LCA

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Menetelmä	7
2.1. Ympäristövaikutukset	7
2.1.1. Fossiilinen ilmastovaikutus eli hiilijalanjälki	7
2.1.2. Luonnonvarojen kulutus – energia ja raaka-aineet	8
2.1.3. Vesijalanjälki	8
2.2. Toiminnallinen yksikkö ja systeemin raja- aus	9
2.3. Tuotteiden valmistusprosessi	10
2.3.1. Kutterinlastu	10
2.3.2. Selluvilla	10
2.3.3. Rahkasammal	11
2.3.4. Turve	12
2.3.5. Turvelevysekoite	13
2.3.6. Turve-rahkasammalsekoite	14
2.4. Tietolähteet ja elinkaarilaskennan toteutus	15
2.5. Tuotteen käytöstä poistaminen ja loppukäsittely	15
2.6. Vertailutuotteet	16
3. Tulokset	17
3.1. Ympäristövaikutukset ”kehdestä tehtaan portille”	17
3.1.1. Fossiilinen ilmastovaikutus	17
3.1.2. Luonnonvarojen kulutus – primäärienergian kulutus	19
3.1.3. Luonnonvarojen kulutus – orgaanisten raaka-aineiden käyttö materiaalina	20
3.1.4. Luonnonvarojen kulutus – vesijalanjälki	21
3.2. Tuotteiden hiilivarasto ja käytöstä poistaminen	22
4. Yhteenveto ja johtopäätökset	24
Viitteet	27

1. Johdanto

Tämä tutkimus tehtiin Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit (PaiBiRa) -hankkeen työpaketina 3. Hankkeen päätoteuttajana toimi Oulun ammattikorkeakoulu Oy, ja hankkeen osatoteuttajina olivat Luonnonvarakeskus ja Suomen metsäkeskus. Hankkeen yrityskumppaneita olivat Vapo Oy, Veljekset Vaara Oy ja Ehta-talot Oy. Hankkeen toteutusaika oli 1.9.2017–31.12.2020 ja hanketta rahoittivat Euroopan unionin aluekehitysrahaston (EAKR) Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020 -ohjelma sekä Pohjois-Pohjanmaan liitto.

Työpaketissa 3 selvitettiin kutterinlastusta, selluvillasta, rahkasammalesta, turpeesta ja kahden viimeksi mainitun seoksesta valmistettujen materiaalien elinkaarisia ympäristövaikutuksia. Hankkeen muissa työpaketeissa tutkittiin raaka-aineiden saatavuutta, materiaalien eristävyttä ja teknistä soveltuvuutta eristeeksi sekä selvitettiin tuotteiden liiketoiminnallisia mahdollisuuksia.

Hankkeen päämääränä oli löytää uusia, ensisijaisesti Pohjois-Pohjanmaan alueelta saatavista materiaalista tai raaka-aineista valmistettavia tuotteita. Tavoitteena oli myös, että näiden uusien tuotteiden ympäristövaikutukset olisivat pienemmät kuin ei-biopohjaisten eristemateriaalien. Tämän selvittämiseksi työpaketissa 3 tehtiin kuudelle erilaiselle eristeellä elinkaarianalyysit (LCA, Life Cycle Analysis). Elinkaarianalyysillä tarkoitetaan tuotteen ympäristövaikutusten arvioimista tuotteen koko elinkaaren ajalta aina raaka-aineen hankinnasta tuotteen käytöstä poistamiseen ja loppukäsittelyyn asti. Tutkittavat eristemateriaalit olivat irtotuotteista kutterinlastu, selluvilla, turve ja rahkasammal sekä levyeristeistä turve- ja turve-rahkasammalsekoite.

Lähtökohtana elinkaarilaskennalle oli työpaketissa 2 tehdyt eristävyystutkimukset sekä olosuhdetestit. Taulukkoon 1 on koottu oleellimmat eristävyystutkimuksessa saadut tulokset materiaalien ominaisuuksista. Olosuhdetesteissä ei käynyt ilmi mitään sellaista, mikä muodostaisi toiminnallisen esteen materiaalien käytölle rakennusten eristeinä.

Taulukko 1. Eristemateriaalien ominaisuuksia.

Eristemateriaali	Tiheys** kg/m ³	Lämmönjohtavuus W/(Km)
Kutterinlastu, irtto	80,5	0,044
Selluvilla, irtto	40,8	0,038
Rahkasammal, irtto	89,9	0,037
Turve, irtto	131,0	0,043
Turve, levy	64,2	0,040
Turve-rahkasammal, levy	66,4	0,038
Lasivilla (Isover)*	14,0	0,037
Polystyreeni (Finnfoam)*	35,0	0,034

*vertailutuote, ominaisuudet perustuvat tuotteiden ympäristöselosteissa julkaistuihin tietoihin

**käyttökosteudessa 10-20%

Tutkituista materiaaleista kutterinlastu ja selluvilla ovat jo vakiintuneita kaupallisia eristeitä, joita valmistetaan Suomessa. Turpeesta ja rahkasammalesta valmistetut eristeet sen sijaan ovat vasta kokeellisella asteella eikä niiden valmistamiseen ole vielä olemassa teollisen mittakaavan tuotantolaitoksia. Näitä eristeitä kehittää Vapo Oy. Rahkasammalta ja turvetta on toki käytetty rakentamisessa eristämiseen pitkään ja käytetään yhä perinnerakentamisessa, mutta kaupallisesti tuotteita ei valmisteta.

Kutterinlastueriste tehdään höylätyn sahatavaran valmistuksen sivutuotteena syntyvästä kutterinlastusta. Kutterinlastueristettä valmistaa Ehta-Talot Oy. Selluvilla valmistetaan kierrätetystä sanomalehtipaperista ja sitä valmistaa Suomessa useampikin yritys. Tässä hankkeessa selluvillan valmistajista yhteistyökumppanina oli Ekovilla Oy. Selluvillasta käytetään myös nimitystä puhallusvilla. Selluvillasta tehdään myös levyeristeitä, mutta tässä työssä tutkittiin irtotavarana seinärakenteisiin puhallettavaa eristettä.

Turpeesta ja rahkasammalesta valmistettiin irtomateriaalina käytettävää eristettä. Turpeesta sekä turpeen ja rahkasammalen sekoitteesta valmistettiin myös levyeristeitä, joihin lisättiin sidosaineeksi muovikuitua, eli ne eivät ole täysin biopohjaisista materiaaleista koostuvia kuten irtomateriaalina käytettävät eristeet.

Vertailutuotteiksi valittiin ei-biopohjaisista eristemateriaaleista lasivillasta valmistettu Isover ja polystyreenistä valmistettu Finnfoam. Vertailutuotteille ei tehty tässä työssä elinkaarianalyysia, vaan vertailutietojen lähteenä käytettiin valmistajien julkaisemia ympäristöselosteita, minkä vuoksi vertailuarvoja ei ole käytettävissä vesijalanjäljestä, jota ei ympäristöselosteessa ole laskettu.

LCA-laskennan tuloksia arvioitaessa on huomioitava, ettei rahkasammal- ja turve-eristeitä vielä valmisteta tehdasmittakaavassa kuten selluvillaa ja kutterinlastua, vaan laskennassa käytetyt lähtötiedot perustuvat koetuotannosta kerättyihin tietoihin.

2. Menetelmä

Elinkaarianalyysi (LCA) on standardoitu menetelmä, jolla pyritään laskemaan eri tuotteiden ympäristövaikutuksista mahdollisimman vertailukelpoista tietoa tuotteen koko elinkaaren ajalta aina raaka-aineen hankinnasta tuotteen käytöstä poistoon ja loppukäsittelyyn asti. Kattavimmillaan elinkaarianalyysi käsittää tuotteen raaka-aineen hankinnan, tuotteen valmistuksen, tuotteen käytön ja käytön aikaiset korjaukset tai kunnostukset, käytöstä poiston ja loppukäsittelyn sekä kaikissa vaiheissa tarvittavat kuljetukset. Kuljetuksiin sisältyy itse tuotteen kuljetuksen lisäksi myös tuotteen valmistukseen tarvittavien raaka- ja polttoaineiden sekä syntyvien jätteiden tarvitsemat kuljetukset. Koko elinkaaresta käytetään usein ilmaisua ”kehdosta hautaan”. Hyvin tyyppillistä on myös laskea elinkaari ns. ”kehdosta tehtaan portille”, jolloin se kattaa vain raaka-aineiden hankinnan ja tuotannon, raaka-aineiden kuljetukset sekä tuotteen valmistuksen. Tämä laskentatapa on perusteltu silloin, kun tuotteen loppukäytön käyttötarkoitukset ovat hyvin moninaiset (esim. sahatavara) tai kun vertaillaan tuotteita, jotka eivät eroa toisistaan käyttövaiheen osalta, kuten esim. eristeet.

Koska eristeet ovat rakennusmateriaaleja, noudatettiin elinkaarilaskennassa ja -analyysissä soveltuvin osin rakennustuotteiden ympäristöselosteen (The Norwegian EPD Foundation 2020, Environmental Product Declaration) laatimisen standardia (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019:en).

2.1. Ympäristövaikutukset

Elinkaarianalyysissä erilaiset päästökomponeentit tai energian ja raaka-aineiden kulutukset yhdistetään ympäristövaikutusluokiksi standardissa määritellyillä karakterisointikertoimilla. Ympäristövaikutusluokkia ovat esim. syntyneitä päästöjä kuvaavat ilmaston lämpenemistä voimistavat, vesistöä rehevöittävät ja maaperää happamoittavat päästöt sekä luonnonvarojen kulutusta kuvaavat uusiutumattomien mineraalivarojen ja uusiutumattomien fossiilisten energiavarojen ehtyminen. Projektisuunnitelman mukaisesti tässä tutkimuksessa mukaan valittiin parhaiten hiilijalanjälkeä sekä energian ja luonnonvarojen kulutusta kuvaavat vaikutusluokat, jotka olivat:

- fossiilinen ilmastovaikutus eli hiilijalanjälki
- primäärienergian kulutus
- orgaanisen materiaalin kulutus
- vesijalanjälki (AWARE).

2.1.1. Fossiilinen ilmastovaikutus eli hiilijalanjälki

Fossiiliset ilmastovaikutukset muodostuvat hiilidioksidi- (CO_2), metaani- (CH_4) ja dityppioksidi- (N_2O) päästöistä sekä ns. F-kaasujen päästöistä.

Dityppioksidi (N_2O) tunnetaan paremmin typpioksiduulina tai puhekielessä ilokaasuna. Dityppioksidin päästömäärät ovat suhteellisen pieniä, mutta koska sen lämmitysvaikutus on 298-kertainen hiilidioksiiniin verrattuna 100 vuoden aikana, on kaasulla merkitystä (IPCC 2007). Typpioksiduulia syntyy erilaisen typpiyhdisteiden käsittelyssä, erityisesti typpilannoitteen nitriittien hajotessa mikrobien vaikutuksesta dityppioksidiksi niin maa- kuin metsätaloudessakin. Myös lannan käsittelyssä syntyy runsaasti päästöjä. Erityisen suuria päästöt ovat suopelloilta.

HFC (fluorihiiilivety) ja PFC (perfluorihiiilivety) -yhdisteet ovat hyvin voimakkaita kasvihuonekaasuja. HFC:tä käytetään kylmälaitteissa, joissa se on korvannut yläilmakehän otsonikatoa aiheuttavat CFC-yhdisteet. PFC-yhdisteitä käytetään mm. elektroniikassa, palonestoaineina sekä tekstiiliteollisuudessa vedenpitävyysskalvoissa. Suuri osa hiilivedyistä on luonnossa hyvin pysyviä. Tämä tekee niistä voimakkaita kasvihuonekaasuja, ja hajoamattomuutensa vuoksi niihin saattaa liittyä muitakin vakavia

ympäristöriskejä, kuten pitkäaikaisen altistuksen haitalliset vaikutukset ihmisten terveyteen. *Rikkiheksafluoridia* (SF_6), joka on kaikkein voimakkain kasviuonekaasu, käytetään hyvän sähköneristävyytensä vuoksi erityisesti sähköalalla. Myös *typpitrifluoridi* (NF_3) on hyvin pysyvä kaasu, joka pyritään käytön jälkeen pääasiassa tuhoamaan, mutta jonkin verran sitä karkaa ilmakehään. Typpitrifluoridia käytetään puolijohdeiden valmistuksessa.

Kaikkia neljää edellä mainittua yhdistettä tai yhdisteryhmää kutsutaan ilmastonlämpenemiseen liittyen usein yhteisnimityksellä F-kaasut.

Hiilijalanjälki ilmaistaan CO_2 -ekvivalenteina, eli kaikki eri kasviuonekaasut muunnetaan karakterisointikertoimilla vastaamaan ilmastonlämmitysvaikutukseltaan hiilidioksidia. Kaasujen ilmastovaikutuksessa on suuri vaihtelu: voimakkaimpien kasviuonekaasujen lämmittävä vaikutus on n. 23 000 kertainen hiilidioksiidiin verrattuna.

2.1.2. Luonnonvarojen kulutus – energia ja raaka-aineet

Jotta luonnonvarojen kulutuksesta saa kattavan käsityksen, täytyy niitä kuvata useammalla materiaalien ja energian kulutusta kuvaavalla indikaattorilla, jotka erottelevat toisistaan uusiutuvat ja uusiutumattomat orgaaniset materiaalit sekä energialähteet ja tarvittaessa myös epäorgaaniset materiaalit kuten mineraalit. Energiankulutus jaetaan kahteen osaan, uusiutumattomaan ja uusiutuvaan primäärienergiankulutukseen. Nämä on edelleen jaettu kahteen osaan, prosessienergianä käytettyyn energiaan sekä raaka-aineena käytettyjen materiaalien energiasisältöön. Energiankulutus ilmaistaan jouleina.

Prosessienergianä käytetyllä primäärienergialla tarkoitetaan polttoaineiden osalta koko tuotantoketjun aikana kaikkien tuotteiden valmistuksessa ja kuljetuksessa käytettyjen polttoaineiden sisältämää energiaa. Tässä tutkimuksessa mukana ovat uusiutuvista energialähteistä biomassat, tuuli-, vesi- ja aurinkoenergia. Uusiutumattomia energialähteitä ovat hiili, maakaasu, öljy, turve ja uraani.

Polttoon perustumattomien uusiutuvien energialähteiden (tuuli, vesi ja aurinko) kohdalla primäärienergia määriteltiin käsittämään näillä menetelmillä tuotettu energia, eli tuotannon hyötysuhdetta ei oteta huomioon, sillä näiden tuotantomuotojen energialähteet eivät tuotannossa kulu tai muuta olomuotoaan. Ydinvoiman tuotannon primäärienergian kulutus laskettiin uraanin fission vapautuvan energiamäärän mukaan.

Raaka-aineena käytetyllä primäärienergialla tarkoitetaan niiden raaka-aineiden käyttöä, joilla on energiasisältö, mutta jota ei prosessissa käytetä energiantuotantoon. Tutkittujen eristeiden osalta tämä tarkoittaa puun, keräyspaperin, turpeen ja sammalen sekä mm. öljystä valmistettujen tuotteiden kuten muovien energiasisältöä absoluuttisen kuivassa tuotteessa (ylempi lämpöarvo).

Epäorgaanisten luonnonvarojen kulutusta voitaisiin kuvata vaikutusluokalla uusiutumattomien mineraalivarojen ehtyminen, joka ilmaistaan yksikössä kilogramma antimoniäkvivalenttia (kg Sb eq). Tämä vaikutusluokka jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska tässä työssä tutkitut tuotteet ovat orgaanisia. Epäorgaanisia aineita, kuten metalleja, kuuluu lähinnä tuotantolaitteiden ja kuljetusajoneuvojen valmistamiseen, joka on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

2.1.3. Vesijalanjälki

Vesijalanjälki antaa kokonaiskuvan vesiekosysteemille aiheutetusta kuormituksesta. Vesijalanjälki laskettiin AWARE-menetelmällä (Boulay 2017), joka ottaa huomioon vesivarantojen niukkuuden alueella, jossa tuotanto tapahtuu. Vesijalanjälki ilmaistaan kuutioina (m^3).

2.2. Toiminnallinen yksikkö ja systeemin raja

Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m²K. Lämmönläpäisykerroimen valinnan perustana on Ympäristöministeriön asetus (Ympäristöministeriö 2008) rakennusten lämmöneristyksistä, jossa ulkoseinän kerroimen vertailuarvoksi on asetettu 0,17 W/m²K.

Systeemi rajattiin kattamaan tuotteen elinkaari raaka-aineen hankinnasta tehtaan portille. Prosessi ja siihen sisältyvät rajaukset on esitetty tarkemmin luvussa 2.3, jossa on kuvattu kunkin eristeen valmistusprosessi. Tuotantolaitteiden ja -rakennusten sekä ajoneuvojen valmistusta eikä muuta infrastruktuuria ole otettu laskennassa huomioon.

Ns. käyttövaiheen jättäminen tarkastelun ulkopuolelle oli perusteltua, koska materiaalien toiminnallisuus rakennuksessa on toiminnallisella yksiköllä asetettu samaksi eikä materiaaleihin myöskään liity käytönaikaisia kunnostus- tai huoltotoimenpiteitä. Toisin sanoen materiaalit eivät käyttövaiheessa eroa toisistaan.

Käytöstä poiston osalta materiaalien ympäristövaikutukset eroavat toisistaan, joten eristeiden käytöstä poiston ja loppukäsittelyn tarkastelu on sisällytetty tutkimukseen, mutta käsitellään muusta LCA-laskennasta erillisenä. Tulosten luotettavuuden kannalta ei ole järkevää yhdistää nykyhetken todennettuihin päästöihin liittyviä ympäristövaikutuksia tulevaisuuden ennustettuihin ympäristövaikutuksiin, joihin liittyy erittäin suuria epävarmuuksia.

Eristeiden tuotannossa syntyy myös joitakin sivuvirtoja, jotka ovat kuitenkin arvoltaan huomattavasti päätuotetta halvempia. Tämän vuoksi ympäristövaikutusten allokoinnissa pää- ja sivutuotteille on käytetty taloudellista allokointia, eli ympäristövaikutukset on pääasiassa kohdistettu tuotteille niiden taloudellisen arvon mukaan. Poikkeuksena oli turve, jonka ympäristövaikutusten allokoinnissa päätuotteelle (kasvuturve eristekäytössä) ja sivutuotteelle (kasvuturve kasvualustana) käytettiin massajakaumia.

Toiminnalliseen yksikköön tarvittava eristemäärä laskettiin työpaketissa 2 tehdyissä eristävyyskokeissa saatujen tulosten perusteella. Eri materiaaleilla tarvittava eristepaksuus on esitetty taulukossa 2, jossa mukana ovat myös vertailutuotteet Isoverilta ja Finnfoamilta.

Taulukko 2. Eristekerroksen paksuus ja neliöpaino lämmönläpäisykerroimella (U-arvo) 0,17 W/m²K.

Eristemateriaali	Eristepaksuus cm	Neliöpaino** kg
Kutterinlastu, irto	25,9	20,8
Selluvilla, irto	22,4	9,1
Rahkasammal, irto	21,8	19,6
Turve, irto	25,3	33,1
Turve, levy	23,5	15,1
Turve-rahkasammal, levy	22,4	14,8
Lasivilla (Isover)*	21,8	3,0
Polystyreeni (Finnfoam)*	20,0	7,4

*Vertailutuote, ominaisuudet perustuvat tuotteiden ympäristöselosteissa julkaistuihin tietoihin

**Käyttökosteudessa 10-20%

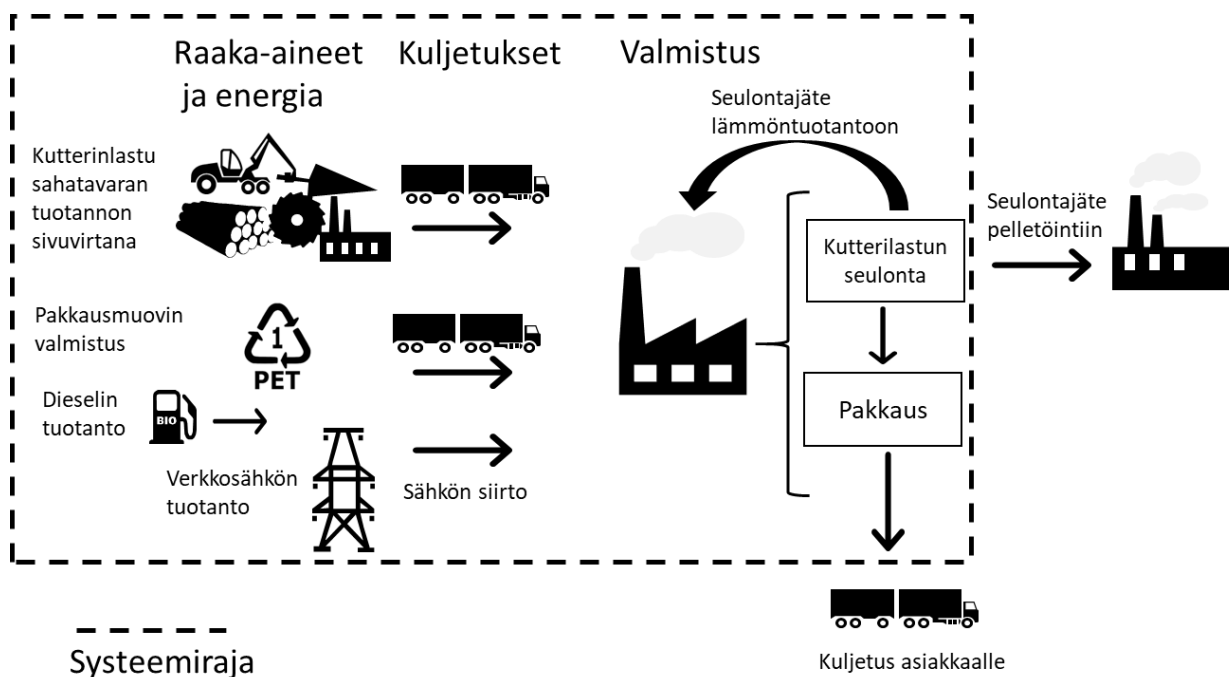
2.3. Tuotteiden valmistusprosessi

2.3.1. Kutterinlastu

Kutterinlastueriste valmistetaan höylätyn sahatavaran tuotannon sivutuotteena syntyvästä kutterinlastusta, josta seulotaan pois tikut ja muu raskaampi puumateriaali. Seulottu kutterinlastu on sellaiseen valmis eristekäyttöön, eli kutterinlastueriste on puhdasta puuta. Kuljetusta varten kutterinlastu pakataan muovikääreellä paaleiksi. Kutterinlastueristeen valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systeimirajaus on esitetty kuvassa 1.

Kutterinlastueristeen tuotantolaitoksen lisäksi LCA-laskennassa otetaan huomioon kutterinlastun alkutuotanto, eli kutterinlastulle kohdistetaan osa sahatavaranvalmistuksen ympäristövaikutuksista metsästä tehtaan portille. Allokointiperusteena käytetään taloudellista allokointia, sillä kutterinlastu on selvästi päätuotetta, höylättyä sahatavaraa, vähäarvoisempaa. Tämän seurauksena kutterinlastulle kohdistuu vain muutama prosentti sahatavaran valmistuksen ympäristövaikutuksista. Laskennassa otetaan huomioon myös pakkausmateriaalin valmistuksen sekä verkkosähkön tuotannon elinkaariset ympäristövaikutukset ja sähkön siirto. Kuljetuksista laskennassa on otettu huomioon raaka-aineiden kuljetukset tuotantolaitokselle sekä kuljetuksissa käytettävän dieselpolttoaineen valmistuksen elinkaariset päästöt.

Kutterinlastun seulontajätteellä tuotetaan tehtaalla tarvittava lämpöenergia. Ylijäävä osuus seulontajätteestä pelletöidään tehdasalueella ja myydään ulkopuolelle energiakäyttöön. Pelletöinti on systeimirajan ulkopuolella. Systeimiraja kulkee tehtaan portilla, joten lopputuotteen kuljetus asiakkaalle ei ole laskennassa mukana. Jätteitä ei tuotannossa synny.



Kuva 1. Kutterinlastueristeen valmistuksen prosessikaavio ja systeimirajaus.

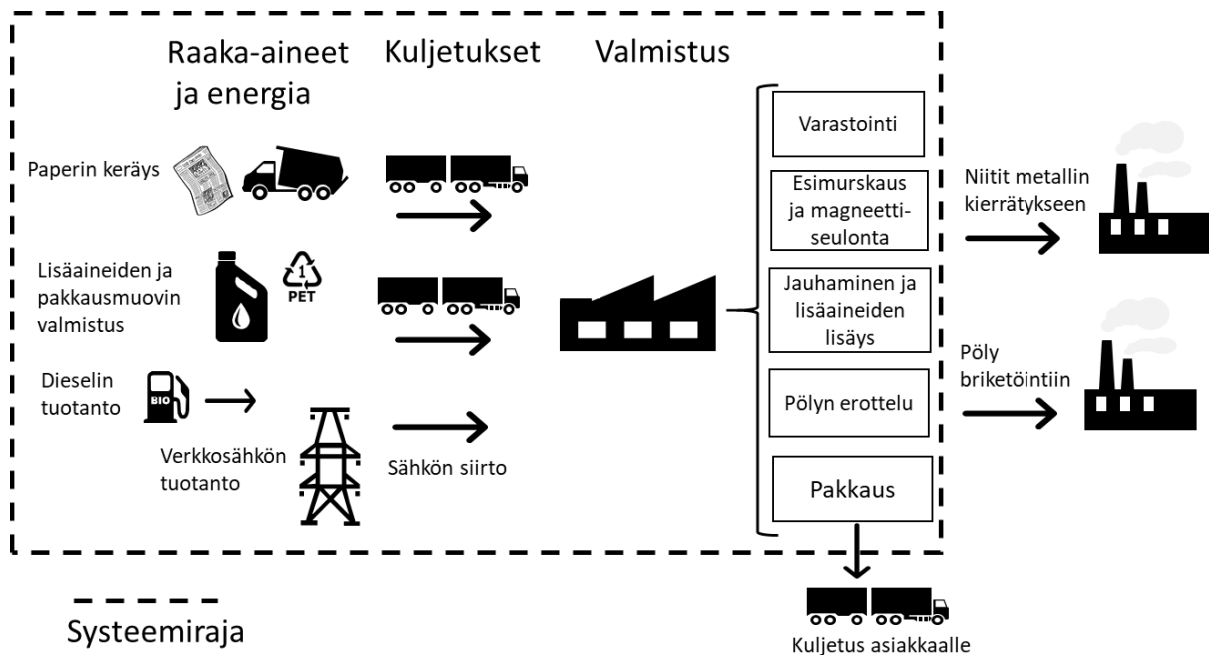
2.3.2. Selluvilla

Selluvilla valmistetaan kierrätetystä sanomalehtipaperista. Materiaalina käytetään sekä kuluttajilta kerättyä paperia että painolaitosten makkelia. Kierrätyspaperipaalit varastoidaan tuotantolaitoksella.

Varastosta paalit siirretään prosessiin, jossa paalit ensin avataan ja esimurskataan tasalaatuisen massan tuottamiseksi. Samassa yhteydessä niitit poistetaan magneeteilla. Murskauksen jälkeen massaan sekoitetaan mm. palonestoaineita ja pölynsidonta-aineita. Tämän jälkeen massa jauhetaan vielä hienojakoisemmaksi ja lopuksi poistetaan pöly. Valmis selluvilla pakataan muovikääreisiin paaleihin. Selluvillan valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systeimirajaus on esitetty kuvassa 2.

Taloudellisen allokoinnin periaatteiden mukaisesti paperinvalmistuksen ympäristövaikutuksia ei ole kohdistettu keräyspaperille, sillä sen arvo on keräyspaperin tuottajalle nolla. Raaka-aineen hankinnan osalta selluvillan valmistukselle kohdistuvat vain paperin keräyksen päästöt ja kuljetus selluvillan tuotantolaitokselle. Tämän lisäksi laskennassa on huomioitu muiden käytettyjen raaka-aineiden, kuten lisäaineiden ja pakkausmuovin valmistus koko elinkaaren osalta sisältäen raaka-aineiden kuljetukset tuotantolaitokselle. Laskenta sisältää myös kuljetuksissa tarvittavan dieselin sekä verkkosähkön tuotannon ja siirron elinkaariset päästöt.

Kierrätyspaperista eroteltavat niitit menevät metallinkierrätykseen ja siirtyvät systeimirajan ulkopuolelle. Paperimassasta eroteltu pöly briketöidään. Myös briketointi tapahtuu systeimirajan ulkopuolella.



Kuva 2. Selluvillan valmistuksen prosessikaavio.

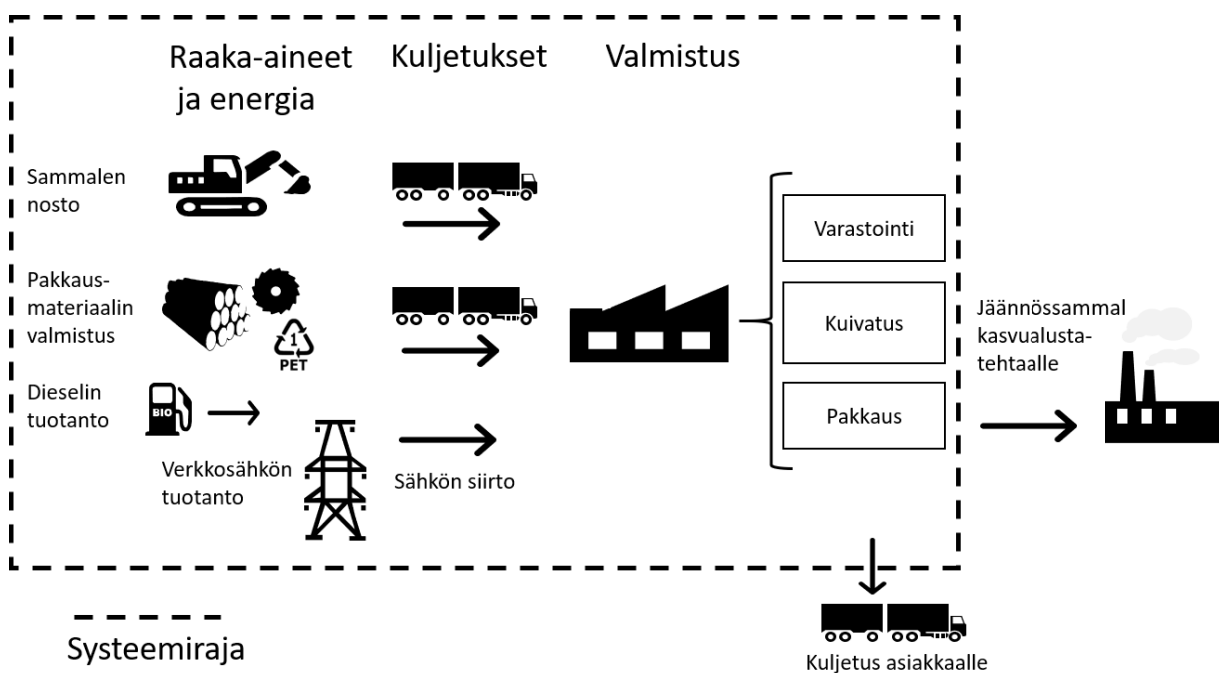
2.3.3. Rahkasammal

Rahkasammalbiomassa on suon elävää, maatumatonta, rahkasammalvaltaista pintakasvustoa, jossa elävän rahkasammalsolukon osuus kasvuston tilavuudesta tulisi olla yli puolet (Näkkilä ym. 2015). Pohjois-Pohjanmaalla rahkasammalen nostoon soveltuvan alueen pinta-ala vaihtelee määrittelyistä riippuen 32 000 ha (Metsäkeskus, PaiBiRa, työpaketti 1) ja 92 500 ha välillä (Pohjois-Pohjanmaan liitto 2015).

Rahkasammaleristeen tuotantolaitoksen lisäksi LCA-laskennassa otetaan huomioon rahkasammalen alkutuotanto, eli rahkasammalelle kohdistetaan ympäristövaikutukset ojitetulta, heikkoravinteiselta ja vähäpuustoiselta suolta tuotantolaitokselle. Tähän sisältyy korjuukohteen rahkasammalkasvuston uusiutuminen korjuun jälkeen, mikä kestää noin 30 vuotta, kun kohteelta nostetaan rahkasammalkasvusto 20–30 cm paksuisesta pintakerroksesta (Silvan ym. 2017, 2019). Samoin laskennassa

huomioidaan rahkasammalkasvuston korjuun aiheuttama vähennys karun suon normaalissa turpeen hiilivaraston kertymisessä 30 vuoden kierron aikana (Punkka 2019) ja korjuun energiankulutus. Sammalraaka-aine ei näin ollen ole minkään muun tuotannon sivuvirtaa, vaan se on uusiutuvaa bioraaka-ainetta, joka kerätään varta vasten eristemateriaalin valmistamista varten.

Kuivausenergiana käytetään verkkosähköä. Valmis tuote pakataan muovikääreessä puiselle kuormalavalle. Laskennassa otetaan huomioon myös pakkausmateriaalin valmistuksen sekä verkkosähkön tuotannon elinkaariset ympäristövaikutukset ja sähkön siirto. Kuljetuksista laskennassa on otettu huomioon raaka-aineiden kuljetukset tuotantolaitokselle sekä kuljetuksissa käytettävän dieselpolttoaineen valmistuksen elinkaariset päästöt. Systemiraja kulkee tehtaan portilla, joten lopputuotteen kuljetus asiakkaalle ei ole laskennassa mukana. Jätteitä ei tuotannossa synny. Mahdollinen ylijäämä voidaan hyödyntää tuotantolaitoksen vieressä sijaitsevalla kasvualustatehtaalla. Rahkasammaleristeen valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systemirajaus on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Rahkasammaleristeen valmistuksen prosessikaavio ja systemirajaus.

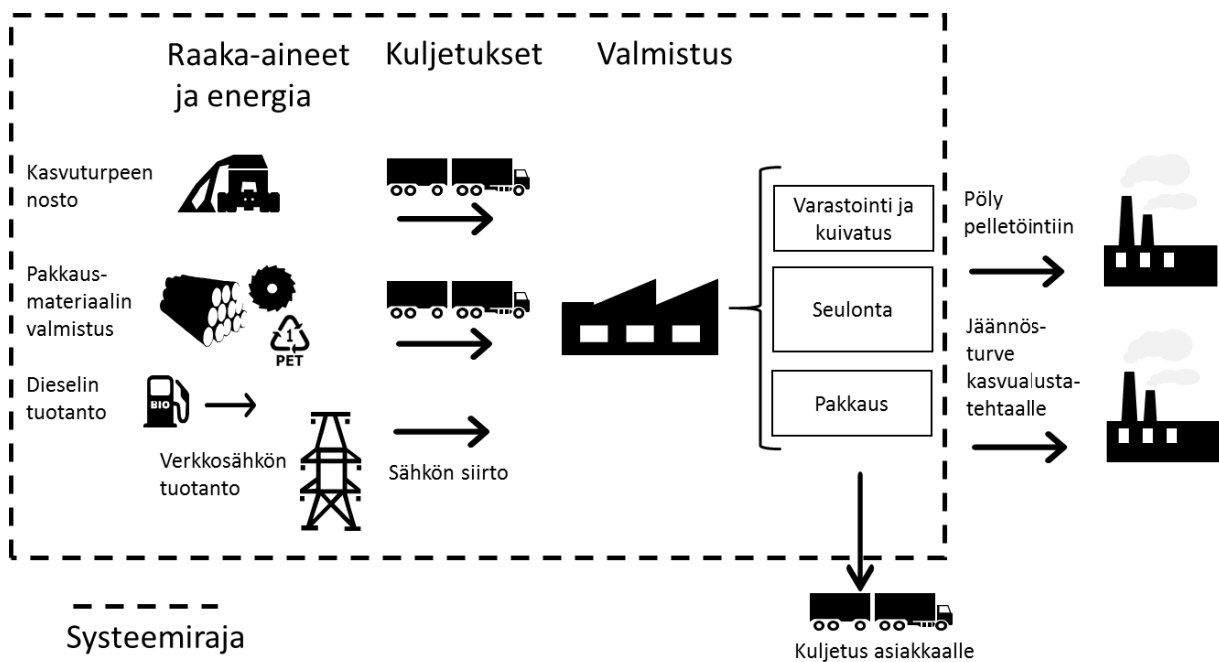
2.3.4. Turve

Turve-eristeen raaka-aineena käytetään kasvualustoihin sopivaa, vähän maatumutta tai keskimaatumutta pinta- tai väliturvetta irtoturpeena (von Postin maatumisaste H1-H6). Kasvuturpeen tulee olla koostumukseltaan pääosin suokasvien jäännöksiä ja sen tulee soveltua sellaisenaan kalkki- ja lannoittelisyksen jälkeen kasvualustaksi, mutta lisäksi orgaanisen aineksen määrän pitää olla vähintään 80 % kuiva-aineesta (Kasvuturpeen ja turvepohjaisten kasvualustojen laatuohje 2009).

LCA-laskennassa otetaan kasvuturpeen korjuun (korjuun jälkeen turvemassasta seulotaan vielä mm. tupasvillan kuidut erikseen) energiankulutuksen lisäksi huomioon turvetuotannon ilmastovaikutus, joka kohdistuu tuotannossa olevaan suoalaan. Kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion päästökertoimien mukaan turvetuotannon ilmastovaikutus on keskimäärin 1,622 kg CO₂-eq./m²/a Pohjois-Pohjanmaan alueella (Statistics Finland 2020). Siitä kohdistetaan 10 % kasvuturvetuotannolle kasvu- ja energiaturpeiden tuotantomäärien suhteen mukaan (Luke 2020; ks. esim. Pohjala 2014), mikä huomioidaan kokonaisuudessaan myös eristemateriaalin osalta. Tosin eristeenä käytettävän irtoturpeen voidaan ajatella olevan kasvu- ja energiaturvetuotannon sivuvirtaa.

Kuivausenergiana käytetään verkkosähköä. Valmis tuote pakataan muovikääreessä puiselle kuormalavalle. Turve-eristeen tuotantovaiheen lisäksi LCA-laskennassa otetaan huomioon myös pakkausmateriaalin valmistuksen sekä verkkosähkön tuotannon elinkaariset ympäristövaikutukset ja sähkön siirto. Kuljetuksista laskennassa on otettu huomioon raaka-aineiden kuljetukset tuotantolaitokselle sekä kuljetuksissa käytettävän dieselpolttoaineen valmistuksen elinkaariset päästöt. Systeimiraja kulkee tehtaan portilla, joten lopputuotteen kuljetus asiakkaalle ei ole laskennassa mukana. Jätteitä ei tuotannossa synny. Mahdollinen turpeen ylijäämä hyödynnetään täysimääräisesti levytehtaan lähellä sijaitsevalla kasvualustatehtaalla.

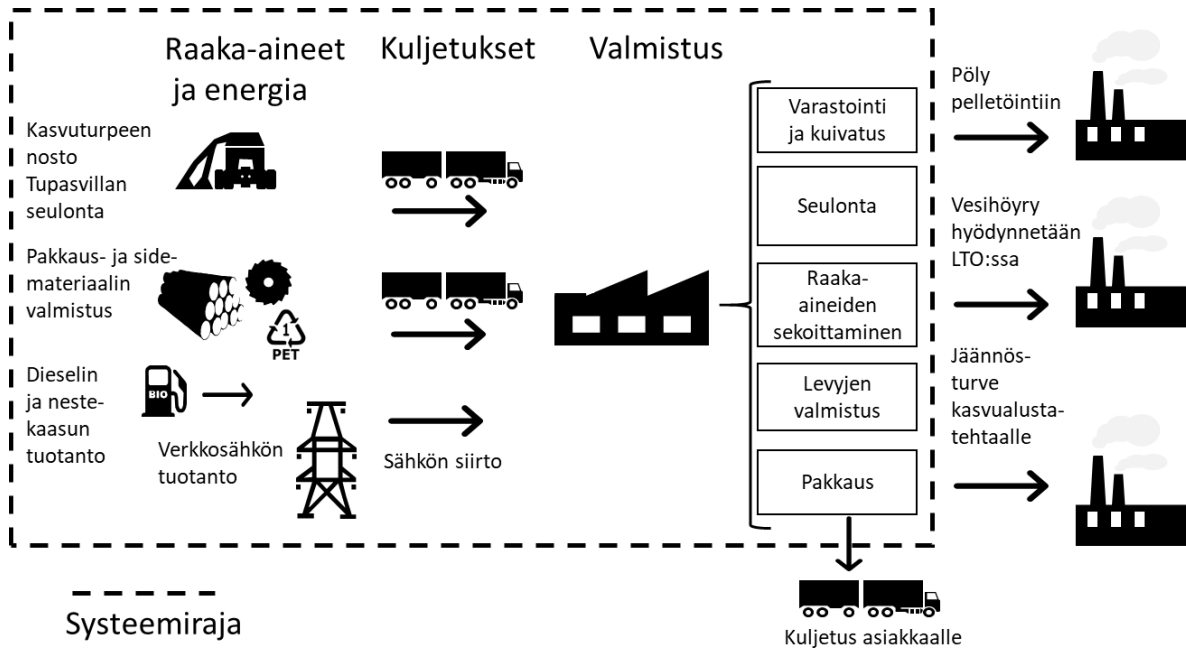
Turve-eristeen valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systeimirajaus on esitetty kuvassa 4. Suokohteen valmistelu turpeennostoon ei sisälly tähän arviointiin, vaan lähtötilanteeksi oletetaan, että alue on korjuuvalmis ja eristeen raaka-aine saadaan muun toiminnan (energia- tai kasvuturpeen noston) yhteydessä.



Kuva 4. Turve-eristeen valmistuksen prosessikaavio ja systeimirajaus.

2.3.5. Turvelevysekoite

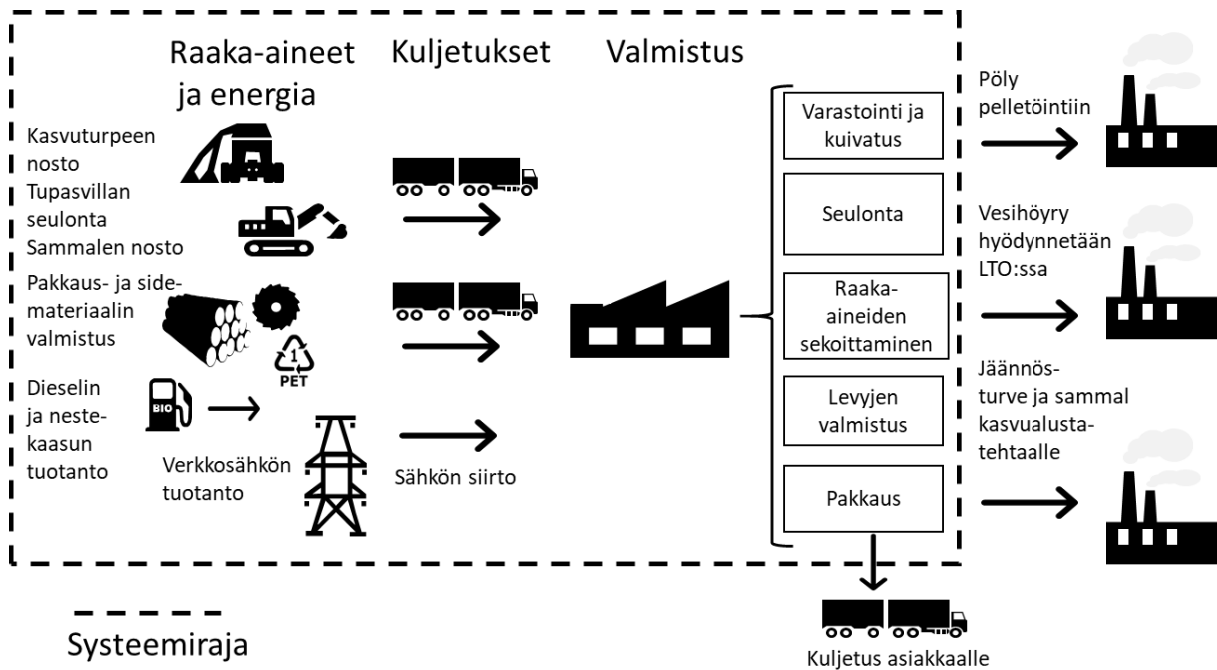
Turvelevyeriste sisältää kasvuturvetta, tupasvilla ja sideainetta. Tupasvilla on toiseksi yleisin sarakasvi Etelä-Suomen turvemaidilla ja Pohjois-Suomessa se on yleisin (Hotanen 2000). Tupasvilla on runsaimmin (8–14 %) Länsi-Suomen ja Kainuun alueen turpeissa (Virtanen ym. 2003). Turvelevyeristeen valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systeimirajaus on esitetty kuvassa 5. Turpeen osalta prosessi on esitetty kappaleessa 2.3.4. Prosessi on sama tupasvillan korjuun ja raaka-aineen kuljetuksen osalta. Valmistusvaiheessa tupasvilla, turve ja sideaineena käytettävä muovikuitu yhdistetään ja seos kuivataan yhdessä. Valmistusprosessissa käytetään sähkön lisäksi nestekaasua, jota kuluu lähinnä materiaalin kuivaukseen. Valmis tuote pakataan muovikääreessä puiselle kuormalavalle. LCA-laskennan osalta pakkaaminen, verkkosähköntuotanto ja dieselpolttoaine on esitetty kappaleessa 2.3.4. Jätteitä tuotannossa ei synny. Sen sijaan prosessi tuottaa sivuvirtoina vesihöyryä ja turvetta. Turve hyödynnetään tuotantolaitoksen viereisellä kasvualustatehtaalla täysin ja vesihöyryn lämpöenergia hyödynnetään muiden tuotantotilojen lämmityksessä.



Kuva 5. Turve-tupasvillasekoitteen eristelevyn valmistuksen prosessikaavio ja systeimirajaus.

2.3.6. Turve-rahkasammalsekoite

Turve-rahkasammallevy sisältää kasvuturvetta, rahkasammalta, tupasvillaa ja sideainetta. Turve-rahkasammaleristeen valmistuksen prosessikaavio sekä LCA-laskennan systeimirajaus on esitetty kuvassa 6. Prosessin eri vaiheet on kuvattu kappaleissa 2.3.3., 2.3.4. ja 2.3.5. Myös näissä levyissä käytetään sideaineena muovikuitua, joka yhdistetään muihin raaka-aineisiin ennen levyseoksen kuivatusta. Valmistusprosessissa käytetään sähkön lisäksi nestekaasua materiaalin kuivaukseen.



Kuva 6. Turve-rahkasammaleristeen valmistuksen prosessikaavio ja systeimirajaus.

2.4. Tietolähteet ja elinkaarilaskennan toteutus

Kutterinlastueristeen tuotantoprosessin tiedot saatiin Ehta-Talot Oy:ltä ja ne kuvaavat todellista tuotantolaitosta. Selluvillan valmistuksen ympäristövaikutukset pohjautuvat Ekovilla Oy:n puhallusvillan ympäristöselosteeseen (VTT 2020), jonka tulokset on muokattu vastaamaan tässä tutkimuksessa muille tuotteille tehtyä elinkaarilaskentaa. Rahkasammal- ja turvepohjaisia eristeitä ei vielä valmisteta tuotantomittakaavassa, vaan ne ovat vasta kehitysasteella. Kehitystyötä tekee Vapo Oy, joka toimitti laskennassa käytetyt lähtötiedot niiltä osin kuin niitä oli saatavissa. Rahkasammalen korjuun tiedot energiankulutuksen osalta saatiin EcoMoss Oy:ltä. Rahkasammaleristeen valmistuksen energiankulutus oletettiin samaksi kuin irtoturve-eristeen valmistuksessa. Vastaava oletus rahkasammalelle ja irtoturpeelle tehtiin valmiin eristeen pakkausmateriaalien kulutuksen osalta.

Kutterinlastueristeen raaka-aineena käytetyn höyläyksen sivutuotteena syntyvän kutterinlastun tuotannon ympäristövaikutukset perustuvat Luonnonvarakeskuksessa kerättyihin tietoihin seitsemän eri sahatavaranvalmistajan tuotannosta. Kutterinlastun arvo on vähäinen, joten sille kohdistuu hyvin pieni osa sahatavaran valmistuksen ympäristövaikutuksista.

Kasvuturpeen nostotyön ilmastovaikutuksen arvioimisessa käytettiin Kirkisen ym. (2007) esittämiä arvoja, jotka muunnettiin CO₂-ekvivalenteiksi (IPCC 2007). Kasvuturpeen energiasisältönä käytettiin 19,05 MJ/kg (pinta- ja väliturve, Pohjois-Pohjanmaa; Virtanen ym. 2003).

Yhden eristeyksikön raaka-aineen tuottamiseen tarvittava tuotantopinta-ala oli rahkasammalella 3,56 m², irtoturpeella 22,31 m², turve-tupasvillasekoitteella 6,04 m² ja turve-tupasvilla-rahkasammalsekoitteella 5,11 m². Rahkasammalen osalta taustatiedot sammalen saannosta saatiin EcoMoss Oy:ltä. Materiaalien tiheydet eri kosteustiloissa ja valmistusprosessin eri vaiheissa saatiin EcoMoss Oy:ltä ja Vapo Oy:ltä. Tuotantoalueella kasvuturpeen tiheytenä ennen nostoa käytettiin 77 kg_{dw} m⁻³, joka laskettiin Pohjois-Pohjanmaan soiden pinta- ja väliturpeelle Virtasen ym. (2003) tulosten perusteella. Koko Suomen kasvuturpeen tuotanto oli keskimäärin 1,715 Mm³/vuosi vuosina 2010–2019 (Luke 2020) ja tuotantoala 5000 ha (2016, Turveinfo 2020). Suurimmat kasvuturvevarat ovat Länsi- ja Lounais-Suomen rannikkoalueilla (Virtanen ym. 2003). Kasvuturvetuotannon osuus oli keskimäärin 9,6 % turvetuotannon kokonaismäärästä vuosina 2010–2019 (Luke 2020). Koska kasvuturpeen saantoluvun arvioimisessa käytettiin turpeen keskimääräisiä tuotantomääriä ja -pinta-aloja koko maan osalta, ovat yhden eristeyksikön tarvitsemat turvetuotantopinta-alat todennäköisesti yliarvioita.

Verkkosähkön tuotannon ympäristövaikutukset perustuvat Suomen sähköntuotannon keskimääräiseen tuotantojakaumaan vuosilta 2015–2019 (Energiateollisuus ry). Voimalaitoskohtaiset hiilidioksidin ominaispäästöt perustuvat hiili-, kaasu- ja turvesähkön tuotannon osalta näiden tuotantomuotojen todelliseen polttoaineen kulutukseen Suomessa vuonna 2019 (Tilastokeskus 2019). Muilta osin eri energiamuotojen ympäristövaikutukset perustuvat Ecoinvent 3-tietokannan tietoihin.

Muiden raaka-aineiden, kuten dieselin, muovien ja kemikaalien ympäristövaikutukset perustuvat Ecoinvent 3-tietokantaan. Rahkasammal-, irtoturve- ja turvelevyeristeissä ei käytetty palonestoaineita. Eri kuljetusmuotojen päästölaskenta on mallinnettu VTT:n Lipasto-tietokannan tietojen pohjalta.

Eristeiden elinkaari mallinnettiin ja ympäristövaikutukset laskettiin SimaPro LCA-laskentatyökalulla (versio 9.1.1.1).

2.5. Tuotteen käytöstä poistaminen ja loppukäsittely

Rakennustuotteiden käytöstä poistamisen ympäristövaikutuksien arvioimiseen liittyy suuria epävarmuuksia. Merkittävä tekijä on rakennuksen oletettu elinikä, joka siis tyypillisesti on sama kuin eristeen käyttöikä. Usein rakennusten eliniäksi on laskelmissa oletettu 50 vuotta, mutta rakennuksen elinikä

voi olla huomattavasti pidempikin. Ympäristönäkökulmasta rakennuksille tulisi tavoitella mahdollisimman pitkää käyttöikää.

Jo 50 vuotta on niin pitkä aika, että on käytännössä mahdotonta sanoa, miten rakennuksen purkamisessa syntyviä materiaaleja silloin tullaan käsittelemään. Onko esim. energiantuotanto rakennusjätteitä polttamalla silloin enää käytännössä edes toteutettavissa ja jos on, niin mitä polttoainetta jäteeristeen voidaan olettaa korvaavan?

Selluvilla on valmistajan mukaan mahdollista ottaa talteen purettavasta rakennuksesta ja käyttää sellaisenaan uudelleen. Tämä voisi olla mahdollista myös muille eristeille, jolloin eristeen käyttöikä voisi olla selvästi pidempi kuin rakennuksen elinikä ja eristeen käytöstä poistaminen siirtyisi vielä kauemmas tulevaisuuteen.

Tässä työssä on lähdetty siitä, ettei eri eristeillä ole niiden ominaisuuksien perusteella eroa käyttöiässä, vaan se on oletettu kaikille samaksi, jolloin vertailun kannalta sen pituudella ei ole vaikutusta. Käytöstä poiston jälkeen eri eristemateriaaleilla voi kymmenien vuosien kuluttua olla uusia käyttökohteita, jotka poikkeavat toisistaan, mutta vertailu on tehty tämänhetkisen todennäköisimmän käsittelytavan mukaan, eli eristeet käytetään polttoaineena energiantuotannossa (Tilastokeskus Jätetilasto).

Vertailussa otetaan huomioon energiasisältö sekä fossiiliset ja biogeeniset kasvihuonekaasupäästöt. Substituutiovaikutusta ei ole tarpeen tarkastella, sillä kaikki eristemateriaalit ovat poltto-ominaisuuksiltaan niin samankaltaisia, että niiden voidaan perustellusti olettaa korvaavan samoja polttoaineita.

2.6. Vertailutuotteet

Tutkituille eristeille valittiin vertailumateriaaleiksi eristemarkkinoilla hyvin tunnetut uusiutumattomiin raaka-aineisiin perustuvat polystyreeni ja lasivilla. Polystyreenistä valittiin vertailutuotteeksi Finnfoam XPS (Rakennustietosäätiö 2016) ja lasivillasta Isover Standard (The Norwegian EPD Foundation 2020). Vertailuarvot laskettiin näiden tuotteiden ympäristöselosteiden tietojen perusteella. Ympäristöselosteissa julkaistujen tietojen pohjalta oli mahdollista laskea vertailuarvot fossiiliselle ilmastovaikutukselle sekä energiankulutukselle. Vertailuarvojen osalta on kuitenkin huomioitava, että ne perustuvat yksittäisen valmistajan yksilöllisiin tuotantotietoihin, kun tutkittujen tuotteiden kohdalla ympäristövaikutukset on laskettu geneerisesti. Tämän vuoksi vertailua tulee pitää vain suuntaa antavana.

3. Tulokset

3.1. Ympäristövaikutukset ”kehdosta tehtaan portille”

Taulukkoon 3 on koottu LCA-laskennan tulokset. Tulokset on käsitelty ympäristövaikutusluokittain seuraavissa kappaleissa. Fossiilien ilmastovaikutuksen, primäärienergian kulutuksen ja orgaanisten luonnonvarojen käytön raaka-aineena osalta on kuvissa 7, 9 ja 10 esitetty myös vertailuarvot Finnfoamin polystyreenieristeestä ja Isoverin lasivillaeristeestä, mutta koska nämä arvot eivät perustu tähän tutkimukseen vaan yritysten omiin ympäristöselosteisiin, ei tuloksia ole selitetty tai perusteltu tarkemmin.

Taulukko 3. Tutkittujen eristemateriaalien ympäristövaikutukset toiminnallista yksikköä kohti. Toiminnallinen yksikkö on neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m²K.

Ympäristövaikutus	Yksikkö	Kutteri	Selluvilla	Rahkasammal	Irtoturve	Turvelevy	Turvesammallevy
Ilmastovaikutus -fossiilinen	kg CO ₂ eq	0,38	0,89	3,94	5,64	10,9	12,1
Luonnonvarojen käyttö							
Uusiutuva energia	MJ	33,2	2,98	51,1	57,0	55,6	58,6
Uusiutumaton energia	MJ	9,69	22,7	49,9	52,8	262	266
Energiankulutus yhteensä	MJ	42,9	25,7	101	110	318	324
Uusiutuvat luonnonvarat raaka-aineena	MJ	396	162	390	25,7	59,5	105
Uusiutumattomat luonnonvarat raaka-aineena	MJ	4,24	2,28	20,2	655	382	286
Luonnonvarojen käyttö raaka-aineena yhteensä	MJ	400	164	411	680	442	391
Vesijalanjälki, AWARE	m ³	1,15	0,134	0,628	0,701	0,397	0,424

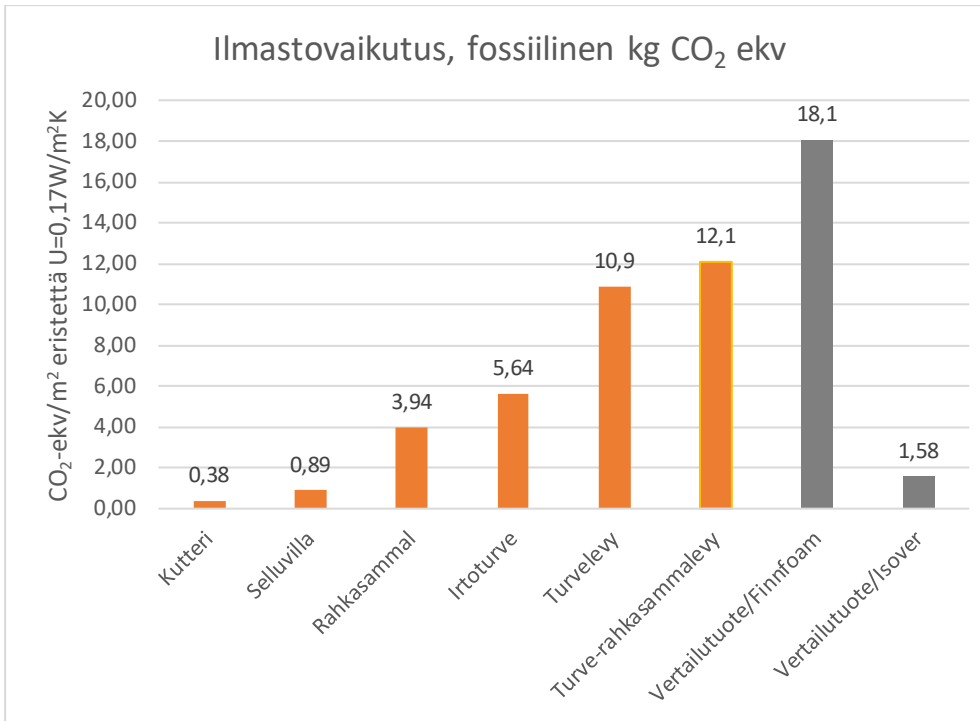
3.1.1. Fossiilinen ilmastovaikutus

Tutkittujen eristeiden sekä vertailutuotteiden fossiiliset ilmastovaikutukset on esitetty kuvassa 7. Kutterieriste ja selluvilla erottuvat hyvin pienellä ilmastovaikutuksellaan. Suurimmat syyt tähän ovat raaka-aineen hankinnan vähäiset ympäristövaikutukset, raaka-aineen kuivuus sekä kevyt prosessointi. Kuivuuden ja kevyen prosessoinnin vuoksi valmistuksen energiankulutus on pieniä, minkä seurauksena myös fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen määrä on pieni. Selluvilla on myös kaikista materiaaleista painoyksikköä kohti laskettuna tehokkain eriste, joten sen neliöpainokin on selvästi alhaisin, esim. alle puolet kutterieristeen painosta (taulukot 1 ja 2). Selluvillan ja kutterieristeen fossiilinen ilmastovaikutus syntyy sähköenergian tuotannon sekä kuljetusten päästöistä.

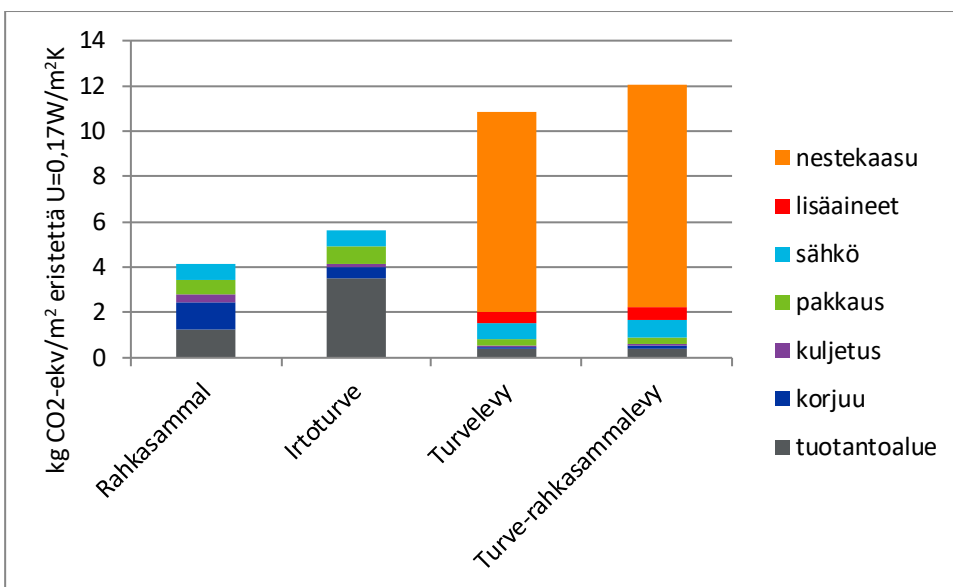
Kutterieristeen fossiilinen ilmastovaikutus on kaikkein pienin, sillä sen valmistus vaatii vain raaka-aineen seulonnan, johon kuluu hyvin vähän energiaa. Tilojen lämmitys hoidetaan sivuvirtana syntyvällä puutähteellä, joten fossiilisia päästöjä ei synny. Myös raaka-aineen eli sahatavaran valmistuksen sivutuotteena syntyvän kutterinlastun valmistuksessa suuri osa kulutettavasta energiasta tuotetaan uusiutuvalla puupolttoaineella.

Turve- ja rahkasammaleristeiden valmistuksen fossiilinen ilmastovaikutus on huomattavasti suurempaa kuin kutterieristeen. Näiden eristeiden ilmastovaikutuksen muodostuminen on esitetty tarkemmin kuvassa 8. Turpeen ja rahkasammalen tuotantoketjussa kasvihuonekaasupäästöjä syntyy myös tuotantoalueella. Rahkasammalen osalta tässä työssä huomioitiin korjuun vaikutus turvekerrokseen

kertyvän hiilivaraston kasvun pienenemiseen rahkasammalen keruun seurauksena (esim. Punkka 2019). Heti rahkasammalen korjuun jälkeen suon kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät jonkin verran, mutta tilanne saattaa palautua korjuuta edeltäneeseen tilaan alle viidessä vuodessa (Silvan ym. 2017). Turvetuotannossa kasvipeitteetön tuotantosuo puolestaan toimii erityisesti hiilidioksidin lähteenä (Alm ym. 2007, IPCC 2007), ja tämä päästö kohdistettiin kasvuturpeelle kasvu- ja energiaturpeiden tuotantomäärien suhteessa. Tässä tutkimuksessa turvetuotantoalue katsottiin olemassa olevaksi tuotantokoneistoksi, joten ilmastovaikutuksiin huomioitiin vain tuotantoalueen maankäyttövaikutus, mutta ei maankäytön muutoksen vaikutusta.



Kuva 7. Eristemateriaalien fossiilinen ilmastovaikutus (sisältää myös LULUC-päästöt). Vertailutuotteiden tiedot on laskettu kyseisten tuotteiden ympäristöselosteiden pohjalta.



Kuva 8. Turve- ja rahkasammaleristeiden fossiilinen ilmastovaikutus toiminnoittain jaoteltuna.

Koska irtoturpe on tutkituista materiaaleista tiheintä ja eristävydeltään heikointa, tarvitaan raaka-ainetta esim. turpeesta tehtyyn levyeristeeseen verrattuna yli kaksi kertaa enemmän saman eristävyyden saavuttamiseen. Osittain tämän seurauksena tuotantoalueen päästöt muodostuvat irtoturpeella hallitseviksi. Noin kaksi kolmasosaa fossiilisesta ilmastovaikutuksesta muodostuu turpeen korjuun seurauksena tuotantoalueelta eli suolta vapautuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Muut valmistuksen päästöt ovat varsin pienet, vain noin kaksinkertaiset esim. selluvillaan verrattuna, sillä kuivaamisen ja pakkaamisen lisäksi irtoturvetta ei tarvitse juurikaan prosessoida.

Irtorahkasammalen tuotantoalueelta syntyvät päästöt ovat noin kolmasosa irtoturpeen vastaavista päästöistä. Korjuun päästöt toisaalta ovat noin kaksinkertaiset turpeeseen verrattuna ja muodostavat merkittävän osan rahkasammaleristeen fossiilisista ilmastovaikutuksista.

Turvelevyeristeiden fossiilisia ilmastovaikutuksia hallitsee prosessissa käytetty nestekaasu, jota kuluu runsaasti. Prosessissa syntyvä vesihöyry käytetään muualla tilojen lämmitykseen. Vesihöyryn sisältämä lämpöenergia on taloudellisesti arvokasta, joten huomattava osa prosessin ympäristövaikutuksista kohdistetaan vesihöyrylle. Teollisen mittakaavan tuotannossa vesihöyryn sisältämä lämpö kierrätettäisiin takaisin prosessiin, mikä tehostaisi huomattavasti prosessin energiatehokkuutta ja vähentäisi nestekaasun kulutusta.

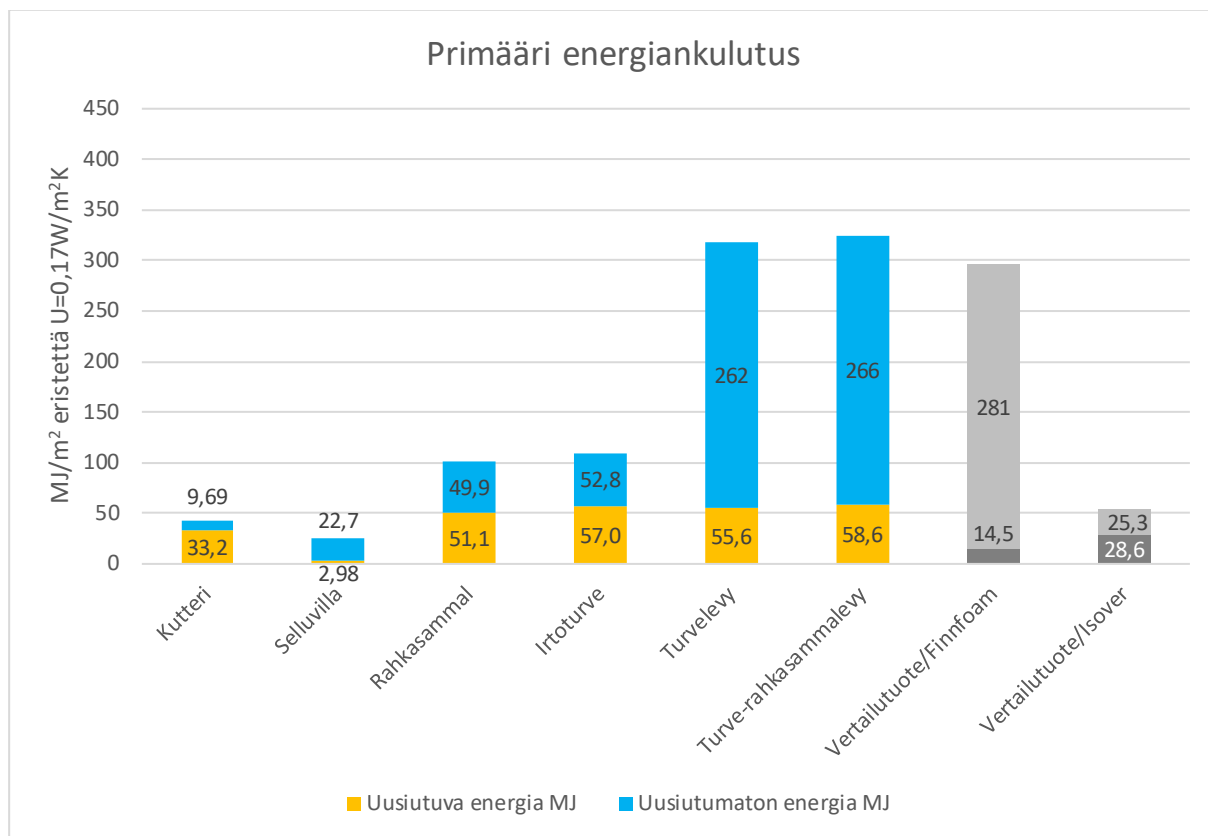
Koska levyeristeet ovat keveitä ja eristävydeltään irtoeristeitä parempia, kutistuu tuotantoalueen, korjuun ja kuljetusten fossiiliset ilmastovaikutukset pieniksi irtomateriaaleihin verrattuna. Levyeristeisiin kuluvan turpeen ja sammalen määrää pienentää jonkin verran myös sideaineena käytetty muovi, jonka fossiilinen ilmastovaikutus on suhteellisen suuri turve- ja sammalraaka-aineisiin verrattuna.

3.1.2. Luonnonvarojen kulutus – primäärienergian kulutus

Primäärienergian kulutus eristeiden valmistuksessa on esitetty kuvassa 9. Energiankulutus usein korreloi hyvin fossiilisen ilmastovaikutuksen kanssa, niin tässäkin tapauksessa. Tulokset poikkeavat fossiilisen ilmastovaikutuksen tuloksista eniten irtoturpeen osalta, jonka primäärienergiankulutus on turve- ja sammalpohjaisista eristeistä pienin. Tämä johtuu korjuun ja kuljetusten suhteellisen pienestä energiankulutuksesta.

Kutterieriste, joka oli ilmastovaikutuksiltaan pienin, kuluttaa energiaa kuitenkin melkein kaksinkertaisesti selluvillaan verrattuna. Tämä on seurausta siitä, että kutterinlastulle kohdistuu osa sahatavaran valmistuksen ympäristövaikutuksista ja siten siellä kulutetusta energiasta, kuten puutavaran kuivaukseen kuluva energia, joka on lähes kokonaan uusiutuvalla energialla tuotettua.

Kutterinlastua lukuun ottamatta muiden tuotteiden kuluttama uusiutuva energia on pääasiassa kulutetun verkkosähkön uusiutuvan energian osuutta. Uusiutumaton energia koostuu verkkosähkön uusiutumattomasta osuudesta sekä työkoneissa ja kuljetusajoneuvoissa kuluva dieselistä. Levyeristeillä suurin osa uusiutumattomasta energiasta on prosessienergianlähteenä käytettävää nestekaasua.



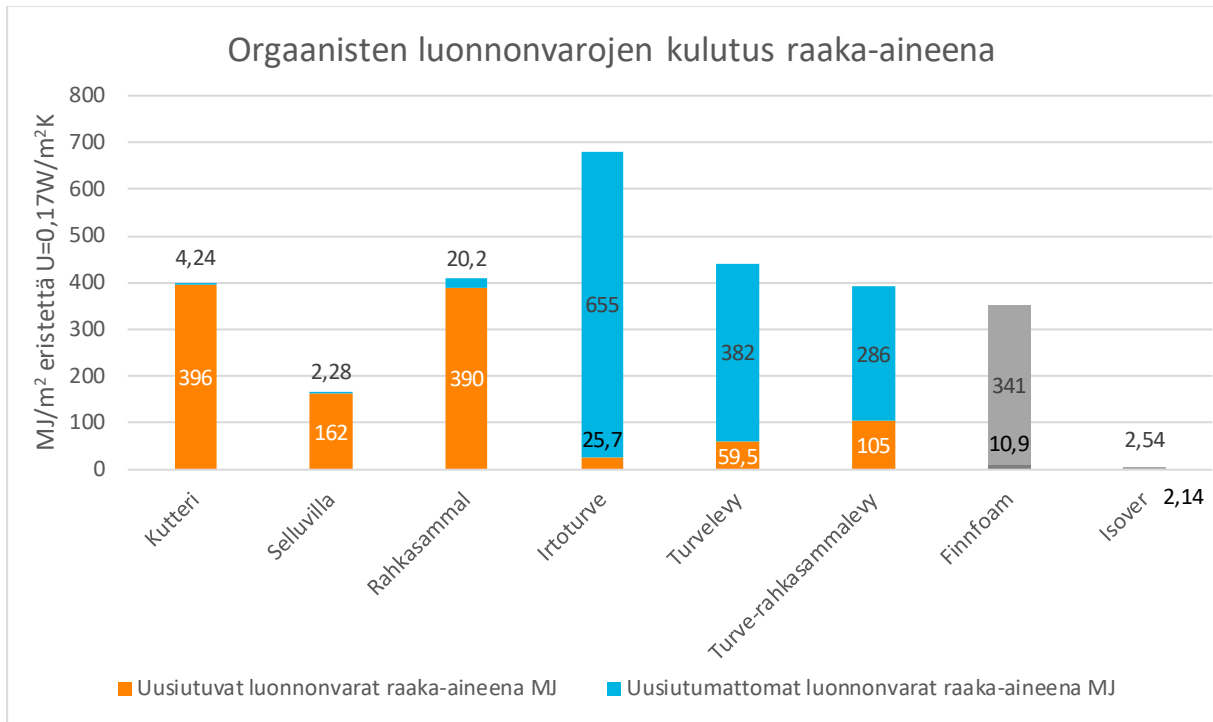
Kuva 9. Eristeiden tuotantoketjun primäärienergian kulutus. Vertailutuotteiden tiedot laskettu kyseisten tuotteiden ympäristöselosteiden pohjalta.

3.1.3. Luonnonvarojen kulutus – orgaanisten raaka-aineiden käyttö materiaalina

Orgaanisten raaka-aineiden käyttö materiaalina on esitetty kuvassa 10. Raaka-aineiden kulutus korreloi luonnollisesti voimakkaasti tuotteen massan kanssa. Mitä kevyempi tuote sitä vähemmän kulutetaan luonnonvaroja. Kutterinlastu, selluvilla ja rahkasammal ovat uusiutuvia luonnonvaroja, joten niistä valmistettu eriste kuluttaa uusiutumattomia raaka-aineita ainoastaan pienen määrän pakkausmateriaalina käytetyn muovin muodossa.

Turve on uusiutumaton luonnonvara, joten siitä valmistetut tuotteet kuluttavat pääasiassa uusiutumattomia luonnonvaroja. Turpeen ja rahkasammalen sekoitteesta valmistetussa eristelevyissä uusiutumattomia luonnonvaroja kuluu silti selvästi vähemmän kuin muissa turvetta sisältävissä eristeissä, koska tuote on turve- ja sammaleristeistä kevein ja osa siitä on uusiutuvaa rahkasammalta. Turvepohjaisten tuotteiden valmistuksessa uusiutuvia raaka-aineita kuluu jonkin verran myös pakkausmateriaalina, sillä ne pakataan puisille kuormalavoille.

Selluvilla keveimpänä eristeenä on luonnonvarojen kulutuksen kannalta selvästi materiaalitehokkain. Muista uusiutuvista materiaaleista rahkasammal kuluttaa raaka-aineita noin kaksinkertaisesti ja kutterinlastu yli kaksinkertaisesti selluvillaan verrattuna. Turvepohjaisista tuotteista irtoturpeeseen kuluu raaka-aineita jo nelinkertaisesti selluvillaan verrattuna. Levyeristeissä raaka-aineiden kulutus on noin kaksinkertainen selluvillaan verrattuna ja samalla tasolla tai hieman alempana kuin kutterinlastulla ja rahkasammalella.

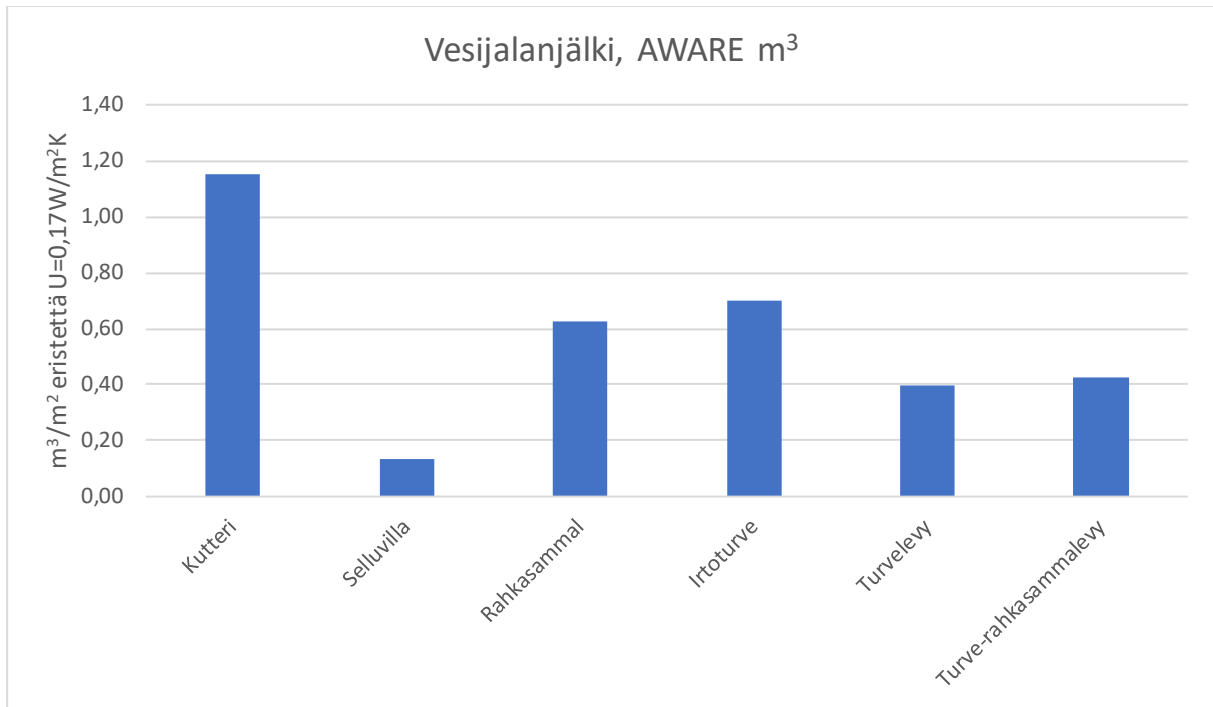


Kuva 10. Eristeiden valmistuksen orgaanisten luonnonvarojen kulutus raaka-aineena. Vertailutuotteiden tiedot laskettu kyseisten tuotteiden ympäristöselosteiden pohjalta.

3.1.4. Luonnonvarojen kulutus – vesijalanjälki

AWARE-menetelmällä lasketut vesijalanjäljet on esitetty kuvassa 11. Vaikka suhteelliset erot vesijalanjäljessä ovat eristeillä suuret, on kaikkien eristeiden vesijalanjälki absoluuttisesti pieni. Vesivarojen niukkuuden huomioiva AWARE-menetelmä antaa Suomessa käytetylle vedelle pienen kertoimen, koska Suomessa vesivaroista ei juuri ole niukkuutta.

Vesivarojen niukkuuden huomioimisen vuoksi AWARE-menetelmä asettaa tiukat vaatimukset käytettävän tiedon laadulle. Keskiarvoihin perustuva tietokanta-aineisto, jota käytetään laskennassa sellaisille raaka-aineille, joille ei ole saatavilla todelliseen tuotantoon perustuvia lähtötietoja, ei usein täytä näitä vaatimuksia. Tällaisia ovat tässä tutkimuksessa mm. muovit, polttoaineet ja erilaiset kemikaalit. Koska AWARE-menetelmä on hyvin herkkä sille, missä vedenkulutus maantieteellisesti tapahtuu, saattaa jokin tällainen keskiarvotieto vaikuttaa suhteellisesti huomattavan paljon lopputulokseen, kun valtaosa vedenkulutuksesta tapahtuu Suomessa. Selittävät tekijät eristeiden välisille eroille löytyvät siten enemmän tausta-aineiston laadusta kuin todellisista eroista vedenkulutuksessa.



Kuva 11. Eristeiden vesijalanjälki AWARE-menetelmällä laskettuna.

3.2. Tuotteiden hiilivarasto ja käytöstä poistaminen

Organisina materiaaleina tutkimuksessa mukana olleet eristeet sitovat itseensä hiiltä ja pitävät sen poissa ilmakehästä ainakin niin kauan kuin ne ovat rakennuksessa eristeenä. Uusiutumattomana materiaalina turpeen hiilen katsotaan pysyvän poissa ilmakehästä, mutta turve-eriste ei muodosta uutta hiilivarastoa. Uusiutuvat materiaalit eli puupohjaiset kutterinlastu ja selluvilla sekä rahkasammal sen sijaan muodostavat eristeenä uuden hiilivaraston pitämällä sisältämänsä hiilen pidempään poissa ilmakehästä verrattuna tilanteeseen, jossa näistä materiaaleista ei valmistettaisi eristettä. Eristeen muodostama hiilivarasto on luonnollisesti sitä suurempi, mitä enemmän materiaalia eristeeseen kuuluu, eli mitä materiaalitehokkaampi eriste, sitä pienempi hiilivarasto. Luonnonvaroja säästävän käytön näkökulmasta ei voida pitää tavoiteltavana mahdollisimman suurta tuotteen muodostamaa hiilivarastoa, vaikka pelkkää tuotteen hiilitasetta tarkastelemalla voisi tällaiseen johtopäätökseen tulla.

Kuten luvussa 2.5 on todettu, ei tuotteiden käsittelystä niiden käytöstä poiston jälkeen voi sanoa mitään varmaa. Rakennusten elinikä voi olla hyvin pitkä ja lyhimmilläänkin niin pitkä, että tällä hetkellä on mahdoton ennustaa, millä tavoin rakennusten purkumateriaaleja silloin käsitellään. Selluvillan valmistaja ilmoittaa, että selluvilla on sellaisenaan uudelleen käytettävissä uuden rakennuksen eristämiseen, mikä vielä pidentää tuotteen käyttöikää lisää. Uudelleen käyttö ei ole poissuljettu mahdollisuus muidenkaan materiaalien kohdalla. Ympäristön kannalta paras ratkaisu on tuotteiden uudelleen käyttäminen samassa käyttötarkoituksessa.

Vertailussa on lähdetty siitä, että hyödyntäminen käytöstä poiston jälkeen tapahtuu energiantuotannossa, joten vertailtavaksi on valittu poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja tuotteen energiasisältö. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Uusiutuvasta materiaalista valmistettujen tuotteiden biogeeninen hiilivarasto vapautuu poltossa, jolloin laskennallisesti katsotaan, että polton päästö on nolla, sillä materiaalin oletetaan hajoavan myös luonnollisessa kierrossa Turpeen kohdalla näin ei ole, vaan sen poltossa vapautuva hiilidioksidi lisää ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuutta. Materiaalien energiasisältö on laskettu niiden alemman lämpöarvon mukaan, joka turpeella, rahkasammalella ja kutterinlastulla arvioitiin olevan käyttökosteudessa 17 MJ/kg (Tilastokeskus 2019, Alakangas 2017) ja selluvillalla

sama kuin sanomalehtipaperilla käyttökosteudessaan eli 18,5 MJ/kg (Alakangas 2017). Levytuotteiden sideaineen lämpöarvona käytettiin polyeteenin lämpöarvoa 46,5 MJ/kg (Alakangas 2017).

Levytuotteiden energiasisältöä kasvattaa sidosaineena käytetty muovi, jonka energiasisältö on hyvin korkea. Öljypohjaisena materiaalina se on uusiutumaton, joten se lisää myös polton fossiilisia päästöjä.

Mikäli eristeet käytöstä poiston jälkeen poltetaan, aiheutuu siitä uusiutumattomien materiaalien kohdalla huomattavan suuri fossiilinen ilmastovaikutus, joka on selvästi suurempi kuin tuotteen valmistuksen ilmastovaikutus. Uusiutuvien materiaalien nettoilmastovaikutus katsotaan nollassi. Lopullinen eristeiden käytöstä poiston ympäristövaikutus riippuu siitä, mitä polttoainetta korvataan.

Taulukko 4. Eristemateriaalien biogeeninen hiilivarasto ja energiasisältö toiminnallista yksikköä kohti. Toiminnallinen yksikkö on neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m²K..

	Biogeeninen hiilivarasto	Polton päästö	Energiasisältö	Ominaispäästö
Materiaali	kgCO ₂ ekv/m ²	kgCO ₂ ekv/m ²	MJ/m ²	gCO ₂ /MJ
Kutterinlastu, irto	-37,5	37,5	354	0
Selluvilla, irto	-12,2	12,2	152	0
Turve, irto	0	59,6	563	106
Rahkasammal, irto	-35,2	35,2	333	0
Turve, levy	0	29,3	302	97,0
Turve-rahkasammal, levy	-4,63	24,3	298	81,4

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin elinkaarianalyysimenetelmää (LCA) käyttäen kuuden eri eristemateriaalin tuotantoketjun ympäristövaikutuksia ns. kehdesta tehtaan portille, eli pitäen sisällään kaikkien raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä näiden kuljetukset ketjun eri vaiheissa, kulutetun verkkosähkön ja muun energian tuotannon, tuotannossa syntyvien jätteiden käsittelyn sekä itse tuotteen tuotantoprosessin tehtaan portille asti.

Tutkittavina eristemateriaaleina olivat jo tuotannossa olevat ja pitkään käytetyt selluvilla ja kutterinlastu sekä uusina Vapon koetuoannossa rahkasammalesta ja turpeesta valmistetut irtoeristeet sekä kaksi levyeristettä, joista toisessa pääraaka-aine oli turve ja toisessa turve ja rahkasammal. Eristeissä käytettävä selluvilla valmistetaan kierrätysraaka-aineesta, eli keräyspaperista, kutterinlastua syntyy höylätyn sahatavaran valmistuksen sivutuotteena ja turve on puolestaan kasvu- ja energiaturpeen tuotannon sivuvirtaa. Ainoastaan rahkasammal on käytetyistä raaka-aineista neitseellinen eli sitä korjataan tätä käyttötarkoitusta varten.

Ympäristövaikutuksista laskettiin fossiilinen ilmastovaikutus, jota voi kutsua myös hiilijalanjäljeksi, sekä luonnonvarojen käyttöä kuvaavat primäärienergian kulutus, orgaanisen materiaalin kulutus sekä vesijalanjälki. Toiminnalliseksi yksiköksi valittiin neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämmönläpäisykerroimen valinnan perustana on Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksistä, jossa ulkoseinän kerroimen vertailuarvoksi on asetettu $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Laskennan tulokset on koottu taulukkoon 5, josta ympäristövaikutusten lisäksi löytyvät myös eristeiden dimensiot asetetulla toiminnallisella yksiköllä.

Pienin fossiilinen ilmastovaikutus on kutterinlastulla, mutta myös selluvillan ilmastovaikutus on hyvin pieni. Molempien tuotteiden raaka-aine on valmiiksi kuivaa ja sen prosessointi eristeeksi vähän energiaa kuluttavaa. Lisäksi raaka-aineen tuotannon ympäristövaikutukset ovat pienet, sillä selluvilla valmistetaan keräyspaperista eikä sille laskennassa kohdisteta lainkaan alkuperäisen paperin valmistuksen ympäristövaikutuksia. Vastaavasti kutterinlastulle, joka on höyläyksen vähäarvoinen sivutuote, kohdistetaan taloudellisen allokoinnin mukaisesti vain hyvin pieni osa höyläsahtavaran tuotannon ympäristövaikutuksista.

Turve- ja rahkasammaleristeiden fossiiliset ilmastovaikutukset ovat selvästi suuremmat kuin kutterinlastulla ja selluvillalla. Levytuotteiden osalta tämä johtuu ensisijassa energiatuotannossa käytetystä nestekaasusta, jota kuluu suhteellisen runsaasti. Tätä tulosta arvioitaessa on otettava huomioon, että prosessitiedot on kerätty koetuoannosta, joten energiankäyttöä ei ole tässä vaiheessa vielä pyritty optimoimaan. Hyvällä prosessisuunnittelulla energiankulutusta on mahdollista vähentää merkittävästi.

Irtoeristeiden valmistus turpeesta ja sammalesta on huomattavasti vähemmän energiaintensiivistä kuin levytuotteiden, mutta näiden ilmastovaikutusta kasvattaa erityisesti tuotantoalueelta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja suon pitkäaikaisen hiilensidonnan mekanismien häiriintyminen. Irtoeristeiden ilmastovaikutuksia kasvattaa myös niiden tiheys ja suhteellisen heikko eristävyys, eli raaka-ainetta tarvitaan paljon asetetun eristävyystason saavuttamiseksi.

Primäärienergian kulutuksen osalta tulokset ovat samankaltaiset kuin fossiilisessa ilmastovaikutuksessa. Selvästi vähiten energiaa kuluu selluvillan ja kutterieristeen valmistamiseen. Levyeristeiden valmistuksen energiankulutus on suurinta, mutta myös turpeesta ja sammalesta valmistettujen irtoeristeiden tuotantoketjun energiankulutus on 2–4-kertaista kutterinlastuun ja selluvillaan verrattuna.

Taulukko 5. LCA-laskennan tulokset tutkituille eristemateriaaleille toiminnallista yksikköä kohti. Toiminnallinen yksikkö on neliö eristettä, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,17 W/m²K.

	Ominaisuudet		Ympäristövaikutukset			
	Eriste-paksuus	Neliö-paino	Fossiilinen ilmasto-vai-kutus	Primääri-energian kulutus	Luonnonva-rojen käyttö raaka-ai-neena	Vesijalan-jälki
Eristemateriaali	cm	kg/m ²	CO ₂ ekv	MJ	MJ	m ³
Kutterinlastu, irtto	25,9	20,8	0,380	42,9	400	1,15
Selluvilla, irtto	22,4	9,12	0,894	25,7	164	0,134
Turve, irtto	25,3	33,1	5,64	110	680	0,701
Rahkasammal, irtto	21,8	19,6	3,94	101	411	0,628
Turve, levy	23,5	15,1	10,9	318	442	0,397
Turve-sammal, levy	22,4	14,8	12,1	324	391	0,424

Orgaanisen materiaalin kulutus raaka-aineena riippuu suoraan tuotteen massasta eli mitä painavampi tuote, sitä suurempi materiaalikulutus, joten tällä mittarilla selluvilla erottuu selvästi parhaana ja painava ja eristävyydeltään melko huono irtoturve heikoimpana materiaalina. Levyeristeiden orgaanisten materiaalien kulutusta lisää niissä sideaineena käytetty muovi, joten vaikka ne ovat irtorahkasammalta kevyempiä, kuluu niiden valmistamiseen silti yhtä paljon tai enemmän raaka-aineita energiasältönä tarkasteltuna.

Vesijalanjälki on kaikilla eristeillä hyvin pieni, sillä jalanjäljen laskennassa käytetty AWARE-menetelmä ottaa huomioon vesivarojen niukkuuden. Koska Suomessa niukkuutta ei ole, antaa menetelmä Suomessa kulutetulle vedelle hyvin pienen kertoimen. Erot eri eristeiden välillä selittyvät luultavimmin joillakin laskennassa käytetyillä keskiarvoihin perustuvilla tietokantatiedoilla kuin todellisilla eroilla eristeiden tuotantoketjujen vedenkulutuksessa.

Uusiutuvista raaka-aineista eli puusta ja rahkasammalesta valmistetut eristeet muodostavat biogeenisen hiilivaraston, joka pitää tuotteeseen sitoutuneen hiilen poissa ilmakehästä elinikänsä ajan. Tuotteen muodostaman hiilivaraston tuottama hyöty ei ole yksiselitteinen, sillä ei ole itsestään selvää, että hiili säilyy tuotteessa pidempään kuin mitä se olisi säilynyt raaka-aineessa. Ei siis ole varmaa, kasvaako hiilivarasto sen seurauksena, että tuote on valmistettu. Uusiutumattomana materiaalina turpeen ei katsota missään tilanteessa kasvattavan hiilivarastoa, sillä turpeen sitoma hiili pysyy poissa ilmakehästä myös siinä tapauksessa, kun turpeen annetaan olla suossa. Puut ja sammat sen sijaan kuolevat ja hajoavat jollain aikajänteellä vapauttaen sitomansa hiilen ilmakehään riippumatta siitä, onko niistä valmistettu tuotteita.

Tuotteen hiilivarasto on sitä suurempi, mitä enemmän raaka-ainetta siihen on kulunut, eli tässä tutkimuksessa pienin hiilivarasto on selluvillalla, joka on eristeistä kevein. Luonnonvarojen säästävän

käytön näkökulmasta tuotteen keveys on tavoiteltava ominaisuus enemmän kuin tuotteeseen sitoutuneen hiilen mahdollisimman suuri määrä.

Eristeiden käytöstä poiston ympäristövaikutuksia ei ole kovin hyödyllistä arvioida, sillä tuotteiden käyttöikä on vähintään 50 vuotta, joten on mahdoton ennustaa, miten rakennusjätettä käsitellään, kun tuotteiden käytöstä poisto tulee ajankohtaiseksi.

Selluvilla ja kutterinlastu erottuivat rahkasammal- ja turvepohjaisista eristeistä selvästi pienemmillä ympäristövaikutuksillaan, mikä on suurelta osin seurausta siitä, että kierrätysmateriaalina ja sivuvirtana näiden tuotteiden raaka-aineen hankinnan ympäristövaikutukset ovat hyvin pienet. Lisäksi turve- ja sammaleristeitä valmistettiin koetuotantona, eikä prosessia siten vielä ole optimoitu energiankäytön suhteen. Erityisesti turpeesta ja rahkasammalesta tehtyjen levyeristeiden ympäristövaikutuksia on mahdollista pienentää kehittämällä valmistusprosessia.

Tutkituista materiaaleista vain rahkasammal oli primääriraaka-aine. Kutterieristeen valmistamisen edellytyksenä on, että kutterinlastua syntyy höyläyksen sivutuotteena. Selluvillan valmistus edellyttää, että saatavilla on riittävän laadukasta keräyspaperia. Eristeturpeen tuotanto edellyttää kasvu- ja energiaturpeen nostoa. Vaikka kaikkia näitä raaka-aineita on nykyisin saatavilla, voi niiden saatavuus tulevaisuudessa heikentyä. Energiaturpeen käyttö vähenee voimakkaasti ja loppunee kokonaan lähitulevaisuudessa. Sanomalehtipaperin kulutus vähenee lehtien digitalisoitumisen myötä ja on mahdollista, että selluvillan raaka-aineen saatavuus heikkenee vähitellen. Puun sivuvirroille etsitään jatkuvasti korkeamman jalostusarvon jatkojalostustuotteita. Jokin uusi innovaatio voi syrjäyttää kutterieristeen kannattavampana kutterin jatkojalostusmuotona.

Tässä tutkimuksessa tehdyn vertailun tulokset olisivat hyvin erilaiset, jos kaikkien eristeiden raaka-aine olisi primääriä. Osa tuotteista, kuten kutterieristettä ei varmasti olisi siinä tapauksessa lainkaan. Toisaalta markkinoille voi tulla myös aivan uusia sivuvirtoihin tai jätemateriaaleihin pohjautuvia eristeitä. Yksi potentiaalinen materiaali on broilerinlihan tuotannon sivuvirtana syntyvä höyhen, jolla on erittäin hyvät eristävyysominaisuudet ja jota syntyy broilerinlihan kulutuksen kasvun myötä yhä suurempia määriä, eikä toimivia hyötykäyttötapoja sille vielä ole.

Viitteet

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258, 229 s. + liitt. 30 s.
- Alm, J., Shurpali, N. J., Minkkinen, K., Aro, L., Hytönen, J., Laurila, T., Lohila, A., Maljanen, M., Martikainen, P.J., Mäkiranta, P., Penttilä, T., Saarnio, S., Silvan, N., Tuittila, E.-S. & Laine, J. 2007. Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 191–209.
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M.J., Manzardo, A., Margni, M., Motoshita M., Núñez, M., Pastor, AV., Ridoutt, B., Oki, T., Worbe, S. & Pfister, S. 2017. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints : assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Int J Life Cycle Ass* 23: 368–378, <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Hotanen, J.-P. 2000. Tupasvilla. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.) Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki. s. 170–171.
- IPCC 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 s.
- Kasvuturpeen ja turvepohjaisten kasvualustojen laatuohje. 2009. Kauppapuutarhaliitto ry, Turveteollisuusliitto ry & Viherympäristöliitto ry, Helsinki. 12 s.
- Kirkinen, J., Hillebrand, K. & Savolainen, I. 2007. Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus: maankäyttöskenaario. VTT Tiedotteita 2365. 49 s.+ liitteet 2 s.
- LIPASTO. Calculation system for traffic exhaust emissions and energy consumption in Finland. <http://lipasto.vtt.fi/en/index.htm>
- Luke 2020. Natural Resources Institute Finland. Statistics database. <http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/>. Luettu: 28.10.2020.
- Näkkilä, J., Silvan, N., Jokinen, K., Särkkä, L. & Tahvonen, R. 2015. Rahkasammalen tuotanto ja käyttö kasvihuonekasvien kasvualustana. Sphagnum moss production and use as growth substrate in greenhouse crops. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Loppuraportti 27.3.2015. 16 s.
- Pohjala, M. 2014. Mikä on energia- ja kasvuturpeen elinkaaren ympäristövaikutus. Pro gradu tutkielma, Helsingin yliopisto. 70 s.
- Pohjois-Pohjanmaan liitto 2015. Turpeen uudet jalostusmahdollisuudet. Pohjois-Pohjanmaan liitto, Julkaisu B81. 51 s.
- Punkka, E. 2019. Rahkasammalen keruun ilmastovaikutukset. Maisterintutkielma, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden maisteriohjelma, Metsien ekologia ja käyttö. 44 s.
- Rakennustietosäätiö 2016. RTS EPD, No. 2 Finnfoam XPS.
- Silvan, N., Jokinen, K., Näkkilä, J. & Tahvonen, R. 2017. Swift recovery of Sphagnum carpet and carbon sequestration after shallow Sphagnum biomass harvesting. *Mires and Peat* 20(1): 1–11.
- Silvan, N., Sarkkola, S. & Laiho, R. 2019. Rahkasammalbiomassa ja sen korjuuseen soveltuvat suot Suomessa. Summary: Peatlands suitable for harvesting of renewable Sphagnum moss biomass in Finland. *Suo* 70(2–3): 41–53.
- Statistics Finland 2020. GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN FINLAND 1990 to 2018. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 566 s. Saantitapa: <https://unfccc.int/documents/219060>.
- Suomen Standardisoimisliitto Ry. 2019. 3. painos, SFS-EN 15804:2012 + A2:2019:en Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.
- The Norwegian EPD Foundation 2020. Environmental product declaration ISOVER Standard, ISOVER Standard Roll, Declaration number: NEPD-2096-948-EN.

Tilastokeskus 2020. Jätetilasto 2019.

Tilastokeskus 2019. Polttoaineluokitus 2019.

Turveinfo 2020. <http://turveinfo.fi/turve/turvetuotanto/turpeen-tuotanto/>; luettu 21.8.2020.

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat vuonna 2000. Geological Survey of Finland. Report of investigation 156. Espoo. 205 s.

VTT 2020. Ympäristöseloste, Puhallusvilla, Ekovilla Oy, Asiakasraportti VTT-CR-00123-20

Ympäristöministeriö 2008. Rakennetun ympäristön osasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriön asetus rakennusten lämmöneristyksestä



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000