



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

Perinteistä muovia korvaavat materiaalit ja ratkaisut

Ilkka Leinonen, Kirsi Kataja, Sirje Vares, Kirsi Immonen, Tarmo Rätty, Esa-Jussi Viitala, Erkki Verkasalo, Katja Lähtinen, Marleena Hagner, Henrik Heräjärvi, Jari Viitanen, Pooja Yadav ja Ali Harlin

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

Perinteistä muovia korvaavat materiaalit ja ratkaisut

Ilkka Leinonen, Kirsi Kataja, Sirje Vares, Kirsi Immonen, Tarmo Rätty, Esa-Jussi Viitala,
Erkki Verkasalo, Katja Lähtinen, Marleena Hagner, Henrik Heräjärvi, Jari Viitanen,
Pooja Yadav ja Ali Harlin

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2022



Viittausohje:

Leinonen, I., Kataja, K., Vares, S., Immonen, K., Rätty, T., Viitala, E.-J., Verkasalo, E., Lähtinen, K., Hagner, M., Heräjärvi, H., Viitanen, J., Yadav, P. Harlin, A. 2022. Perinteistä muovia korvaavat materiaalit ja ratkaisut. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 104 s.

Ilkka Leinonen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-2778-5154>



ISBN 978-952-380-402-9 (Painettu)

ISBN 978-952-380-403-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-403-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Ilkka Leinonen, Kirsi Kataja, Sirje Vares, Kirsi Immonen, Tarmo Rätty, Esa-Jussi Viitala, Erkki Verkasalo, Katja Lähtinen, Marleena Hagner, Henrik Heräjärvi, Jari Viitanen, Pooja Yadav ja Ali Harlin

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisu vuosi: 2022

Kannen kuva: Pixabay

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <https://luke.omapumu.com/fi/>

Tiivistelmä

Ilkka Leinonen¹, Kirsi Kataja², Sirje Vares², Kirsi Immonen², Tarmo Rätty¹, Esa-Jussi Viitala¹, Erkki Verkasalo¹, Katja Lähtinen¹, Marleena Hagner¹, Henrik Heräjärvi¹, Jari Viitanen¹, Pooja Yadav¹ ja Ali Harlin²

¹Luonnonvarakeskus

²VTT

Hankkeessa arvioitiin laajasti erilaisten perinteistä muovia korvaavien materiaalien ja ratkaisujen ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia. Erityisesti arvioitiin korvaavien materiaalien ja ratkaisujen käytön potentiaalia perinteisen muovin korvaajina, materiaalien käytettävyyttä ja käyttökohteiden rajoituksia, sekä materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden ominaisuuksia ja vaikutuksia ympäristön kannalta (ml. mahdollinen biohajoavuus ja kompostoitavuus). Myös materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden kierrätettävyyttä ja suhdetta SUP-direktiiviin sekä muihin materiaaleja ja tuotteita koskeviin vaatimuksiin arvioitiin.

Hanke tuotti yksityiskohtaisia tuloksia viidelle esimerkkituoteryhmälle, jotka olivat (1) kertakäyttöinen muovinen salaattipakkaus, (2) yksittäispakattu makeistuote, (3) polystyreenivaahdosta valmistettu eristelevy, (4) suojamuovi betonille tai puurakenteelle ja (5) kateviljelyn katepeite.

Tarkasteltavaksi valitut ruokapakkaukset (esimerkkituoteryhmät 1 ja 2) kuuluvat pääosin SUP-direktiivin piiriin, jolloin niihin kohdistuu SUP-direktiivin tuoteryhmäkohtaiset vaatimukset, mikä vaikutti oleellisesti korvaavien materiaalien arviointiin. Tutkimus toi selkeästi esiin sen, että ruokapakkauksiin sopivia biopohjaisia korvaavia muovilajeja ja kuitupohjaisia materiaaleja löytyy huomattavan useita. Niiden laajamittaisessa käyttöönotossa on monia hidasteita, joista esimerkkeinä monien korvaavien materiaalien korkeampi hinta ja rajoitettu saatavuus, sekä nykyisen muovinkierrätysprosessin asettamat esteet niiden kierrätykselle uusiksi tuotteiksi (jolloin siirtyvät energijätteeksi).

Yksi hankkeen tavoitteista oli tarkastella sitä, ovatko mahdolliset korvaavat ratkaisut ympäristön kannalta kestäviä, ja erityisesti sitä, mikä on niiden ilmastovaikutus verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Tähän tarkoitukseen valittiin LCA-lähestymistapa, juuri sen kokonaisvaltaisuuden vuoksi. Tarkasteluun valittu laaja tuotevalikoima mahdollisti aikaisempaa huomattavasti kattavamman ilmastovaikutusten arvioinnin tuoteryhmien sisällä. LCA-tuloksissa korostui erityisesti fossiilisten ja biopohjaisten materiaalien erot laskennallisessa ilmastovaikutuksessa. LCA-tarkastelu toi myös esille kierrätyksen ilmastohyödyt.

Yleisesti hankkeen tutkimus toi kokonaisvaltaista konkreettista tietoa siitä, mitä asioita on otettava huomioon perinteisen muovin korvaamiseen liittyvissä toimenpiteissä kussakin esimerkkituoteryhmässä. Uusien tuotteiden materiaalikoostumukset ja ympäristövaikutukset vaativat kuitenkin lisää selvityksiä, ja uutta tutkimusta tarvitaan erityisesti siihen, miten biopohjaisten tuotteiden valmistamiseen liittyvät biomassan ja maaperän hiilivarastojen muutokset (sekä hiilipäästöt että hiilen sitominen) saataisiin paremmin huomioitua tuotetason ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Asiasanat: Muovi, toiminnallisuus, kierrätys, elinkaariarviointi, ympäristövaikutukset

Sisällys

1. Tausta	6
2. Tavoite	7
3. Muovien käyttö: yleistä tarkastelua	8
3.1. Muovien tarve ja käyttö.....	8
3.2. Biomuovien markkinat ja niiden ennustettu kehitys	8
3.3. Muovien käyttö rakentamisessa.....	11
4. Korvaavien materiaalien suhde SUP-direktiiviin	13
5. Suhde muihin materiaaleja ja tuotteita koskeviin vaatimuksiin ja aloitteisiin	15
6. Biohajoavuus: yleistä tarkastelua	21
6.1. Muovin biohajoavuuden määritelmä	21
6.2. Biohajoavuuden standardit	21
7. LCA-laskennat: yleiset periaatteet ja menetelmät	24
7.1. Käytetty laskentamenetelmä	24
7.2. LULUC- ja biogeeniset kasvihuonekaasupäästöt LCA-laskennassa.....	26
8. Tuoteryhmäkohtaiset tulokset	28
8.1. Pakkaaminen / kertakäyttöiset muoviset salaattipakkaukset	28
8.1.1. Materiaalit kertakäyttöisissä muovisissa salaattipakkauksissa	28
8.1.2. Korvaavat materiaalit kertakäyttöisissä salaattipakkauksissa.....	30
8.1.3. Elintarvikepakkausiiin liittyviä tuoteturvallisuusnäkökohtia: esimerkkinä PFAS-yhdisteet.....	37
8.1.4. LCA-tulokset: salaattipakkaukset.....	40
8.1.5. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien salaattipakkausten ominaisuuksista	44
8.2. Pakkaaminen / yksittäispakattu makeistuote.....	49
8.2.1. Materiaalit yksittäispakatuissa makeistuotteissa	49
8.2.2. LCA-tulokset: makeiskääreet.....	57
8.2.3. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien makeiskääreiden ominaisuuksista	57
8.3. Rakentaminen / polystyreenivaahdosta valmistettu eristelevy.....	61
8.3.1. Polystyreenin ominaisuudet.....	61
8.3.2. Polystyreenin käyttö ja mahdolliset korvaavat materiaalit eri rakenneratkaisuissa ..	61
8.3.3. Polystyreenin käyttö routasuojauksena.....	68
8.3.4. Polystyreenin käytöstä poisto.....	70
8.3.5. Rakentamisen vaihtoehtoisten ratkaisujen saatavuus riittävyys ja hinta.....	70

8.3.6.	LCA-tulokset: rakentaminen.....	72
8.3.7.	Yhteenveto korvaavien ja korvattavien eristelevyjen ominaisuuksista.....	74
8.4.	Rakentaminen / suojamuovi betonille tai puurakenteille	78
8.4.1.	Rakennustyömaiden pakkausmuovit.....	78
8.4.2.	Betonin jälkihoito/suojamuovi	79
8.4.3.	Muovisuojaus työmaalla	80
8.4.4.	Rakennusmuovien keräys ja kierrätys.....	80
8.4.5.	Esimerkkejä polyeteenimuovien kierrätyslaitoksista.....	81
8.4.6.	Yhteenveto korvaavien ja korvattavien suojamateriaalien ominaisuuksista	85
8.5.	Maanviljelys / kateviljelyn katepeite.....	87
8.5.1.	Katepeitteiden käyttö ja markkinat	87
8.5.2.	Perinteistä muovia korvaavat materiaalit katepeitteissä.....	88
8.5.3.	Kriittisiä näkökantoja korvaavien katemateriaalien käyttöön	91
8.5.4.	Yhteenveto korvaavien materiaalien ominaisuuksilta verrattuna korvattaviin katemateriaaleihin.....	91
8.5.5.	Muovisten katepeitteiden kierrätys.....	97
9.	Yhteenveto.....	98
	Viitteet.....	102

1. Tausta

Työn ja sen tavoitteiden taustalla ovat lukuisat EU:n linjaukset, politiikkapaperit ja direktiivit sekä näiden kansallinen implementointi. Muovien kierrätyksen lisääminen ja ekologisesti kestävien korvaavien materiaalien kehittämisen tarve fossiilipohjaisille muoveille on kirjattu eri tavoin mm. EU-komission Green Deal -ohjelmaan, Komission kiertotalouden toimintasuunnitelmaan ja muovistrategiaan ja näiden tuloksena myös EU-regulaatioon, kuten SUP-direktiiviin. Esim. kiertotalouden toimintasuunnitelmaan on sisällytetty tavoitteita asettaa pakollisia vaatimuksia muovien kierrätysraaka-ainesisällölle pakkauksissa, rakennusmateriaaleissa ja ajoneuvoissa, ja korvaavia ratkaisuja tarvitaan. Edellä mainitut strategiat, erityisesti kierrätystavoitteet, otetaan käytäntöön mm. uuden jätedirektiivin ja sitä toimeenpantaessa uudessa jätelaissa ja –asetuksessa. Jätelain muutos hyväksyttiin heinäkuussa 2021. Myös kansallisesti laaditussa Muovitekartassa on kirjattu vastaavan kaltaisia tavoitteita, ja tämä työ vastaa haasteisiin liittyen perinteisten muovien korvaamiseen uusilla ratkaisuilla ja materiaaleilla. Kuten Muovitekartaankin on kirjattu, esimerkiksi biopohjaisia uusia ratkaisuja tulee edistää, mutta vain mikäli ne ovat ekologiselta suorituskyvyltään parempia kuin perinteiset ratkaisut.

2. Tavoite

Hankkeessa arvioitiin kanssa laajasti erilaisten perinteistä muovia korvaavien materiaalien ja ratkaisujen ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia, erityisesti

- käytön laajuutta ja potentiaalia perinteisen muovin korvaajina ja/tai uusissa käyttökohteissa (Luvut 3, 8.1.2, 8.2.1, 8.3.2, 8.3.3, 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3, 8.5.1, 8.5.2)
- kyseisten materiaalien ja niiden raaka-aineiden riittävyttä ja keskinäisiä suhteita (Luvut 3, 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3, 8.1.5, 8.2.1, 8.3.5, 8.5.2, 8.5.4)
- materiaalien käytettävyyttä ja käyttökohteiden rajoituksia (Luvut 3.3, 8.1.1, 8.1.2, 8.2.1, 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3, 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3, 8.5.1, 8.5.2)
- materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden ominaisuuksia ja vaikutuksia ympäristön kannalta (ml. mahdollinen biohajoavuus ja kompostoitavuus) (Luvut 6, 7, 8.1.1, 8.1.2, 8.1.4, 8.2.1, 8.2.2, 8.3.6, 8.5.4)
- materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden kierrätettävyyttä ja vaikutuksia jätehuollon kannalta (Luvut 8.1.1, 8.1.2, 8.1.5, 8.2.1., 8.3.5, 8.4.4, 8.4.5, 8.5.5)
- suhdetta SUP-direktiiviin vaatimukseen (Luvut 4, 8.1.1, 8.1.2, 8.2.1)
- suhdetta muihin korvaavia materiaaleja ja tuotteita koskeviin vaatimuksiin ja aloitteisiin (Luvut 5, 8.1.5., 8.2.3, 8.5.5)

Näitä ominaisuuksia arvioidaan tässä raportissa sekä yleisellä tasolla (Luvut 3–7) että erikseen eri tuoteryhmille sovellettuna (Luku 8).

Projektin aloituskokouksessa 10.11.2020 (YM & Luke & VTT) esimerkkituotteiden valinnasta päätettiin alustavasti, että tutkittavat esimerkkituotteet valitaan muovin käytön volyymejä eri tuotesektoreilla mukaillen seuraavasti:

- 1–2 tuotetta pakkaussektorilta (esim. elintarvikepakkaamisen sektoreilta makeistuotteet ja/tai valmisruoat)
- 1–2 rakennustuotetta (esim. EPS tai XPS valmistettu eristelevy ja/tai suojamuovit betonille/puurakenteille)
- 1 tuote tekstiilisektorilta
- 1 tuote jostakin seuraavista sektoreista: Autoteollisuus, Sähkölaitteet, Kuluttajatuotteet, Maanviljelys, Muu käyttö (esim. kateviljelyn katepeite tai kertakäyttöiset muoviset juomakupit)

Yhdessä hankkeen ohjausryhmän kanssa (hankkeen valvoja Merja Saarnilehto, Tarja-Riitta Blau-berg, Päivi Piispa ja Sarianne Tikkanen) tutkimuksessa tarkasteltavat esimerkkituotteet ja ratkaisut täsmennettiin seuraavasti:

1. Pakkaaminen / kertakäyttöiset muoviset salaattipakkaukset
2. Pakkaaminen / yksittäispakattu makeistuote
3. Rakentaminen / polystyreenivaahdosta valmistettu eristelevy
4. Rakentaminen / suojamuovi betonille tai puurakenteille
5. Maanviljelys / kateviljelyn katepeite (tähän sisältyy perinteisen synteettisen kuitukangastuotteen korvaaminen)

3. Muovien käyttö: yleistä tarkastelua

3.1. Muovien tarve ja käyttö

Pakkausteollisuus on suurin muovinkäyttäjät Euroopassa (noin 40 % kaikesta käytetystä muovista) ja toiseksi suurin sektori on rakennusteollisuus (n. 20 %). Maatalousmuovit edustavat noin 3 % kokonaiskäytöstä. Sekä kuluttajakaupassa että yritykseltä-yritykselle-liiketoiminnassa yleinen piirre on, että pakkausten laadusta tai toiminnallisuudesta ei olla valmiita tinkimään, mutta samalla toivotaan saataville ympäristöä vähemmän kuormittavia ratkaisuja.

Biomuovien globaali valmistusmäärä on tällä hetkellä (2021) 2,23 miljoonaa tonnia vastaten noin 0,6 % muovien valmistuksen vuosittaisesta kokonaisvolyymista. Biomuoveilla tarkoitetaan sekä uusiutuvista lähtöaineista peräisin olevia muoveja, että biohajoavia muoveja, joista osa voi olla valmistettu käyttäen fossiilisia raaka-aineita. Biomuoveista biohajoavien osuus on noin 60 %. Lähiaikojen kasvun ennustaan olevan suurinta PLA:n (polylaktidi) ja PHA-tyyppisten (polyhydroksyalkanoaatti) muovien valmistusmäärissä. Bio-pohjainen polyetylenitereftalaatin (PET) korvaaja polyetylenifuranoaatti (PEF) on tulossa markkinoille vuonna 2023, mikä voi muuttaa kokonaiskuvaa jonkin verran.

3.2. Biomuovien markkinat ja niiden ennustettu kehitys

Biomuovien globaali markkina ei ole vielä kovin suuri, noin 10 miljardia dollaria, mutta sen on vuonna 2020 arvioitu kasvavan vuosina 2021–2028 nopeasti, noin 17 prosentin vuosivauhtia. Vuonna 2030 markkina olisi siten jo 30 miljardia dollaria, mikä tarkoittaisi noin 6–7 prosenttia kaikista muoveista. Erityisen nopea kasvun odotetaan olevan Euroopassa ja biohajoavissa laaduissa, mikä johtuu paitsi EU:n lisääntyvästä sääntelystä myös monien eurooppalaisten yritysten ja kuluttajien vapaaehtoisista pyrkimyksistä vähentää fossiilisten muovien käyttöä. Euroopan osuus biomuovien markkinoista on jo nyt merkittävä, noin 44 prosenttia. Suurin kysyntä on Saksassa. Biohajoamattomien muovilajien kysynnän odotetaan kasvavan mm. elektroniikka- ja autoteollisuudessa sekä kuluttajatuotteissa kuten kasseissa, mukeissa, kalvoissa ja pulloissa.¹

Biomuoveja tuotetaan eri puolilla maailmaa, mutta joidenkin muovilajien osalta tuotanto on varsin keskittynyttä. Raaka-aineiden saatavuus määrittää usein tuotannon sijainnin ja laajuuden. Esimerkiksi maailman suurin PLA-muovin tuotantolaitos (150 000 t/v) sijaitsee Yhdysvaltain keskilännessä (Nebraskassa), jossa maissia on runsaasti saatavilla. Suuria tuotantolaitoksia on myös Euroopassa ja Brasiliassa, jossa pääraaka-aine on ruokosokeri. Maailman suurin biomuovien tuottajamaa on kuitenkin Kiina. Vuonna 2020 Aasian osuus biomuovien globaalista tuotannosta oli Kiinan vetämänä 46 %, Euroopan 26 %, Pohjois-Amerikan 17 % ja Etelä-Amerikan 10 % (european-bioplastics.org).²

Biomuovialalla on sekä suuria että pieniä tuottajia. Tunnetuimman biomuovin eli PLA:n merkittävin tuottaja on yhdysvaltalainen NatureWorks, jonka omistavat yhdessä jättimäinen yhdysvaltalainen maatalous- ja elintarvikealan yhtiö Cargill ja Thaimaan valtion öljy-yhtiö PTT. PLA:n toiseksi suurin tuottaja on hollantilainen Total-Corbion, jonka päätuotanto 75 000 t/v tapahtuu

¹ <https://www.european-bioplastics.org>

² <https://www.european-bioplastics.org>

pääosin Thaimaassa, mutta ovat laajentamassa tuotantoaan Ranskaan. Raaka-aineena on mm. sokeriruoko ja tärkkelyspitoiset kasvit. Yhtiö on myös ottamassa käyttöön kemiallisesti kierrätettyä PLA:ta.

Muun muassa kartonkimukien ja -lautasten pinnoittamisessa, juomapilleissä sekä terveydenhoidossa käytettyä PHA-muovia tuotetaan vielä erittäin vähän. Muovilaadun globaali markkina on noin 60 miljoonaa dollaria ja suurimman tuottajan (Danimer Scientific) kapasiteetti on parhaillaan etenkin Kiinassa toteutettavien isojen laajennusten jälkeenkin vuonna 2023 yhteensä vain noin 30 000 tonnia. PHA:n globaalin tuotannon odotetaan kuitenkin kasvavan nopeasti muun muassa siksi, että PHA hajoaa myös meressä. Tosin lopputulos riippuu käytetyistä raaka-aineista (Meereboer ym. 2020). Lisäksi on arvioitu, että kylmissä merissä PHA:n tai joidenkin sen lajien hajoaminen voi kestää kauan. Erilaisia PHA-lajeja on raportoitu olevan toistasataa, ja tällä hetkellä on vielä epäselvää, mitkä niistä tulevat jatkossa olemaan kaupallisesti laajemmin saatavilla.

Vuonna 2025 PHA-muovien tuotannon arvon odotetaan olevan noin 120 miljoonaa euroa (marketsandmarkets.com), mutta näin suuren tuotantomäärän toteutumista on myös epäilty, koska PHA:n valmistaminen on parin vuosikymmenen intensiivisestä kehitystyöstä huolimatta edelleen teknisesti vaativaa. PHA:n päämarkkina on Eurooppa, mutta tuotantolaitokset sijaitsevat nykyään pääosin Yhdysvaltain etelävaltioissa ja Kiinassa. Raaka-aineet ovat hyvin moninaiset: sokerit, kasviöljyt ja erilaiset sivuvirrat ja orgaaniset jätteet. Danimer Scientificilla pääraaka-aine on rypsiöljy (danimerscientific.com), jota on joissakin markkinakommenteissa pidetty liian kalliina PHA:n kaupallisen kilpailukyvyn kannalta. Toisaalta halvempia raaka-aineita tai raaka-aineyhdistelmiä käytettäessä tuotteen biohajoavuus ei enää olekaan selvää (Meereboer ym. 2020). PHA:n raaka-aineena voidaan käyttää myös fossiilisia jäteöljyjä, mutta niilläkin on myös muita käyttökohteita.

BioPE:n selvästi suurin tuottaja on brasilialainen Braskem, jonka kapasiteetti on 200 000 t/v. Braskemin tuotetta käytetään myös Suomessa, mm. suurten elintarvikeyhtiöiden kartonkitölkkeissä, ja sen raaka-aine on ruokosokeri. Braskem kutsuu tuotettaan nimellä "Green PE" ja kertoo, että se on ollut markkinoilla noin kymmenen vuotta. Vertailun vuoksi todettakoon, että Braskem tuottaa fossiilista PE:tä noin 20 kertaa enemmän kuin bioPE:tä (braskem.com). Suomessa UPM tuottaa Lappeenrannassa mäntyöljystä raaka-ainetta bioPE-muoviin, jota käytetään muun muassa nestepakkauskartonkien kierrekorkeissa. Kyseistä muovia ei kuitenkaan valmisteta Suomessa eikä se ole biohajoavaa.

Belgialainen FUTERRO tuottaa 80 000 t/v maitohappoa ja 30 000 t/v PLA:ta Kiinassa, mutta ovat laajentamassa tuotantoaan. Biomuovialan muita merkittäviä tuottajia ovat Novamont (Italia), Teijin (Japani), Toray (Japani), Toyota Tsusho (Japani), M&G Chemicals (Italia), Showa Denko (Japani), Sabic (Saudi-Arabia), BASF (Saksa), DuPont (Yhdysvallat), Lanxess (Saksa) ja Solvay (Belgia). Osa yhtiöistä tuottaa biomuoveja, osa niiden komponentteja ja osa molempia. Useat suuret öljy- ja petrokemian yhtiöt ovat mukana biomuovia tuottavissa yrityksissä. Toisaalta osa on myös myynyt osuuksiaan niissä.

Biomuovit ovat yleensä kalliimpia kuin fossiiliset muovit. Markkinalähteiden mukaan esimerkiksi PLa:n hinta on 20–50 prosenttia ja PHA:n 20–80 prosenttia korkeampi kuin fossiilisten verrokkien. UPM:n bio-PE-korkin hinta on lähes kaksinkertainen fossiilisesta muovista valmistettuun. Tosin asia riippuu jossain määrin siitä, mitä muoveja ja siten myös tuotantoprosesseja verrataan keskenään, mitä raaka-aineita prosesseissa käytetään ja mikä näiden raaka-aineiden hintataso on vertailuhetkellä. Öljyn ja maakaasun hintojen nopean kohoamisen seurauksena monien fossiilisten muovien hinnat ovat nousseet viimeisen vuoden aikana erittäin paljon, joidenkin muovilajien jopa yli kaksinkertaistuneet, mutta toisaalta energian, keinolannoitteiden ja

muiden tuotantopanosten kallistuminen vaikuttaa suoraan tai viiveellä myös biomuovien ja niiden raaka-aineiden hintoihin. Monien biomuovien valmistus vaatii useita välivaiheita ja kohtalaisen paljon energiaa, eikä niiden tuotantoprosesseja ole vielä pystytty optimoimaan samalla tavalla kuin petrokemianteollisuuden valmistamien fossiilisten muovien. Myös mittakaavaetuja puuttuu, koska useimmat nykyiset biomuovien tuotantolaitokset ovat kohtalaisen pieniä.

Kun öljyn ja maakaasun hinnat olivat hyvin alhaalla 2010-luvun puolivälissä, useita biomuovien tuotannon laajennussuunnitelmia lykättiin tai niistä luovuttiin. Sen sijaan investoitiin erittäin paljon fossiilisen muovin tuotannon laajentamiseen, koska näiden muovien hinnat olivat korkealla. Öljyn ja maakaasun hinnan kohottua mielenkiinto biomuovituotannon laajentamiseen on taas virinnyt, ja paljon uusia investointeja on tulossa tai suunnitteilla. Kokonaiskuvan kannalta on kuitenkin hyvä huomata, että myös fossiilisten muovien tuotanto lisääntyy, ja vaikka niiden tuotannon kasvuvauhti on pienempi kuin biomuoveissa, niin fossiilisten muovien tuotannon lähtötaso on niin paljon korkeampi, että niiden tuotantomäärän ennustetaan kasvavan selvästi enemmän kuin biomuovien.

Vuonna 2021 muovien globaali markkina on noin 600 miljardia dollaria, ja sen ennustetaan kasvavan 3–4 prosentin vuosivauhtia (grantviewresearch.com). Vuonna 2028 markkina olisi jo noin 750 miljardia dollaria.

Biomuovien tuotannon ja markkinoiden ennusteisiin liittyy jonkin verran epävarmuutta. Tämä johtuu ennen muuta kolmesta seikasta. Ensinnäkin biomuovien kysyntään ja tuotantoon vaikuttavat muoveja koskevan sääntelyn sisällöt ja laajuus, jotka puolestaan ovat kytköksissä yhteiskuntien ja kansalaisten (kuluttajien) preferenssien kehitykseen. Yksi keskeinen kysymys on, missä määrin Yhdysvalloissa ja Aasian väkirikkaissa valtioissa tullaan seuraamaan Euroopan unionin esimerkkiä muovituotteiden sääntelyssä ja miten tämäntyyppinen sääntely ja sen myötä teknologiset ratkaisut tulevat jatkossa kehittymään esimerkiksi koskien muovien mekaanista ja kemiallista kierrätystä.

Toinen keskeinen biomuovien markkinakehitykseen vaikuttava seikka on eri raaka-aineiden hinta, johon myös yhteiskuntien politiikoilla, esimerkiksi tuilla ja normipohjaisella sääntelyllä voidaan merkittävästi vaikuttaa. Tällä hetkellä fossiilista tuotantoa ja sen myötä myös perinteisten muovien valmistusta tuetaan laajasti monissa yhteiskunnissa. Toisaalta monissa maissa tuetaan voimakkaasti myös mm. maissin, ruokosokerin, kasviöljyjen ja eläinrasvojen tuotantoa, joka suoraan tai epäsuorasti.

Kolmas olennainen kysymys liittyy biomuovien raaka-aineiden kestävyteen, erityisesti maan käytön mahdollisiin epäsuoriin ympäristövaikutuksiin. Tällä hetkellä suurin osa biomuoveista on niin sanottuja ensimmäisen sukupolven tuotteita, jotka valmistetaan ruoaksi tai rehuksi soveltuvista raaka-aineista kuten maissista, sokeriruo'osta, sokerijuurikkaasta, perunasta, kassavasta, erilaisista kasviöljyistä (mm. rypsi, rapsi, soija) tai viljasta. Usein kyseessä ovat monokulttuurit ja tehoviljely. Toisen sukupolven raaka-aineita ovat lignoselluloosapohjaiset jakeet ja sellaiset kasviöljyt ja rasvat, jotka eivät yleensä ainakaan suoraan sovellu ruoaksi tai rehuksi. Usein ne ovat muiden tuotantoprosessien sivuvirtoja [mm. olki, sokeriruon kuitu (bagasse), maissin varsi ja lehdet (corn stover), sokerijuurikkaan kuitu, elintarviketeollisuuden ja ravintoloiden jäterasvat], muuta orgaanista jätettä tai sellaista teollisten tuotantoprosessien tuottamaa sivuvirtaa, joka ainakin vielä nykyään luokitellaan säädöksissä jätteeksi (mm. mäntyöljy, palmuöljyn rasvahapot). Myös niiden käytön ympäristövaikutukset biomuovien valmistuksessa ovat osin epäselviä, koska usein niille löytyy myös sellaista vaihtoehtoista käyttöä, jolla voidaan säästää ilmasto- ja muita ympäristöhyötyjä muilla tavoin. Lisäksi on epäselvää, kuinka paljon tällaisten sivuvirtojen teollinen hyödyntäminen kannustaa epäsuorasti lisäämään esimerkiksi

palmu- ja muiden kasviöljyjen, maissin ja sokeriruohon tehotuotantoa. Useiden lignoselluloosapohjaisten raaka-aineiden käyttöön liittyy myös teknistaloudellisia ja kaupallisia haasteita. Tämä ei ole biomuovialalla uutta, sillä markkinalähteiden mukaan esimerkiksi PLA:n johtavalta tuottajalta NatureWorks-yhtiöltä kesti yli 20 vuotta ennen kuin se sai liiketoimintansa voitolliseksi. Käännepäätös tapahtui vasta muutama vuosi sitten. PHA:n tuotantoa ei ole vielä saatu kannattavaksi ainakaan Yhdysvalloissa, vaikka kehitystyöhön on investoitu erittäin mittavia summia.

Kolmannen sukupolven raaka-aineita biomuoveille ovat esimerkiksi levät, mutta niiden hyödyntäminen ei ole vielä saavuttanut kaupallista mittakaavaa.

3.3. Muovien käyttö rakentamisessa

Rakentamisessa käytetään paljon erilaisia muovilajeja, vaikka muovien käyttö suhteessa muihin rakennusmateriaaleihin on pieni (Häkkinen, T., Kuittinen, M., Vares, S., 2019). Toisaalta rakentaminen on pakkausmuovien jälkeen yksi suurimpia muovin käyttökohteita (20,4 % muovien käytöstä Euroopassa ja sama suuruusluokka koskee myös Suomea) (PlasticsEurope, 2020). Rakentamisen muovit green deal -sopimuksessa 2020–2027³ tavoittelevat rakentamisen toimitusketjuissa ja rakentamisessa käytettävien kalvomuovien (polyeteenipohjaiset muovit sekä kiriste- ja kutistekalvomuovit PE-HD, PE-LD ja PE-LLD) erilliskeräyksen lisäämistä, tehokkaampaa uudelleenkäyttöä ja kierrätystä sekä kulutuksen vähentämistä. Sopimuksen päättymisvuonna 2027 tuotetusta kalvomuovista 40 prosenttia tulisi pohjautua kierrätettyyn raaka-aineeseen.

Eniten käytetty muovilaji rakentamisessa on polyvinyylidikloridi (PVC), seuraavaksi eniten käytetyt muovit ovat korkeatiheyksinen polyeteeni (PE-HD) ja vaahdotettu polystyreeni (EPS).

Muoveja käytetään ja muovijätettä syntyy koko rakennuksen elinkaaren ajan (rakentaminen, käytönaikaiset osien korjaukset ja vaihto, sekä elinkaaren päätösvaihe, jossa koko rakennus puretaan ja rakennusmateriaaleista tulee jätettä).

Tähän projektiin on valittu tarkasteltavaksi kaksi rakennusmuovin käyttökohdetta; lämmöneristemuovi, polystyreenistä valmistettu eristelevy ja betonipintojen- sekä puurakenteiden suojauksessa käytetty polyeteenikalvo. Nämä muovit kuuluvat muoviperheeseen (Thermoplastics), joita voidaan kierrättää, lämmittää, muotoilla uudelleen ja jäähdyttää toistuvasti.

Polystyreenistä valmistettu eristelevy

EPS ja XPS ovat molemmat polystyreenipohjaisia lämmöneristeitä. Niitä käytetään rakennusalalla lämmöneristeenä julkisivuissa, seinissä, katoissa, lattioissa, kevyenä täytemateriaalina teiden ja rautateiden rakentamisessa sekä routasuojana. Niiden koostumus on samaa, mutta valmistusmenetelmä ja suorituskyky eroavat toisistaan.

³ <https://sitoumus2050.fi>

Muovikalvon käyttö tuotteiden suojaukseen

Kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi puuelementit kääritään polyeteeniperäiseen muovikalvoon (PE-LD). Vasta elementin nostossa paikalleen tämä suojakalvo poistetaan. Silloin kun rakentamisen aikana ei käytetä suojakatosta, asennuksen jälkeen seinärakenteen yläpuoli päällystetään uudestaan muovikalvolla, tämä poistetaan vasta välipohjan asennuksen yhteydessä.

Muovikalvon käyttö betonipinnan kosteuden haihtumisen ehkäisemiseksi

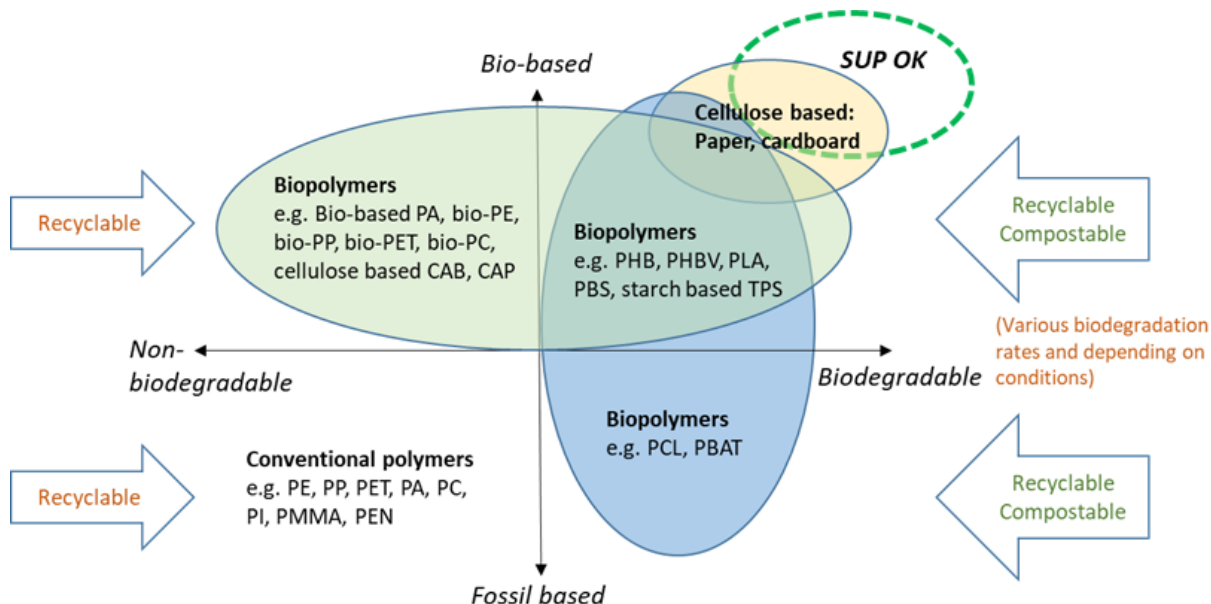
Muovikalvoa käytetään betonivalun jälkeen ehkäisemässä betonin nopeaa kuivumista. Muovikalvona on käytössä polyeteenimuovi (PE-LD). Muovikalvon lisäksi voidaan käyttää muita suojaamisen vaihtoehtoja, ja niillä kaikilla on omat hyvät ja huonot puolensa.

Markkinat

Euroopan polystyreenimarkkinan (EU28+NO/CH) vuoden 2020 markkinavolyymin on arvioitu olevan 1,8 Mt. Vaikka Covid 19 on vaikuttanut muovituotantoon ja tarpeeseen, seuraavan viiden vuoden aikana on ennustettu markkinakasvua yli neljä prosenttia (ennustejakso 2021—2026) (Europe Expanded Polystyrene EPS Market | 2021 - 26 | Industry Share, Size, Growth - Mordor Intelligence. Polyeteenin tarve (PE-LD ja PE-LLD) (alhainen ja keskitiheä muovi) vuonna 2019 on ollut 8,5 Mt.

4. Korvaavien materiaalien suhde SUP-direktiiviin

Polymeeristen pakkausmateriaalien maailmassa haaste suhteessa SUP-direktiiviin tulee esille, kun tarkastellaan Kuvaa 1.



Kuva 1. Polymeeriset pakkausmateriaalit ja suhde SUP-direktiiviin (Muokattu kuvasta [European-bioplastics.org/bioplastics/materials/](https://european-bioplastics.org/bioplastics/materials/))

Kuvan 1 perusteella SUP-direktiiviin mukaisesti hyväksytyjä materiaaleja ovat lähinnä paperiin ja kartonkiin perustuvat ratkaisut. Kyseisissä pakkauksissa on kuitenkin pakattavan tuotteen näkökannalta tuotteen säilymiseen liittyviä ominaisuuksia, jotka eivät ole ongelmallisia lyhyissä säilytysajoissa, mutta voivat nousta haasteeksi pidemmän säilytyksen vaativissa elintarvikkeissa. Monet kertakäyttöiset muoviset salaattipakkaukset tarvitsevat vain lyhyen säilytysajan, esimerkiksi kaupan tiskiltä kotiin ja kotisäilytyksen (1–2 vrk), jolloin paperi- ja kartonkipohjaisista ratkaisuista voisi löytyä ratkaisuja. Sen sijaan yksittäispakattu makeistuote kuten suklaa- tai energiapatukka vaatii useamman kuukauden, jopa vuoden säilytysajan vaihtelevissa kosteus- ja lämpötila- sekä mekaanisen kontaktin olosuhteissa. Tällöin pelkkä paperi- tai kartonki ei välttämättä riitä tarjoamaan suojaa (barrier-ominaisuuksia) kosteuden, hapettumisen ja rasvankeston kannalta, ja pakkausmateriaali joudutaan vähintäänkin pinnoittamaan tai etsimään monikerrosratkaisuja.

SUP-direktiivin sisältämät varsinaiset tuotekiellot ja merkintävaatimukset astuivat voimaan 3.7.2021 ja ne sisältyvät uudistettuun jätelakipakettiin. SUP-direktiivin vaatimukset ja tuotteet, joita se koskee, on kootusti esitetty mm. Suomen Pakkausyhdistyksen sivuilla ja alla olevassa taulukossa (Taulukko 1). (Suomen Pakkausyhdistys, Jätelaki muuttuu <https://www.pakkaus.com/jatelaki-muuttuu/>, haettu sivuilta 24.9.2021).

Taulukko 1. SUP-direktiivin vaatimukset ja tuotteet, joihin se kohdistuu. Taulukko otettu Suomen Pakkausyhdistyksen sivuilta. (Huom. Taulukon tuotevaatimuksissa ei ole esitetty muovipullojen kierrätetyn muovin pitoisuuden vaatimusta: PET muovipulloista 25 % vuonna 2025 ja kaikista muovipulloista 30 % vuonna 2030 laskettuna kaikista markkinoille saatetusta pulloista).

SUP-direktiivin vaatimus		Tuotteet
Kulutuksen vähentäminen		<ul style="list-style-type: none"> Juomamukit ml. korkit ja kannet Elintarvikepakkaukset (astiat ja rasiat syömävalmiille annoksille)
Markkinoille saattamisen rajoittaminen		<ul style="list-style-type: none"> Vaahdotetusta polystyreenistä valmistetut elintarvikepakkaukset juomapakkaukset, ml. korkit ja kannet juomamukit, ml. korkit ja kannet Ruokailuvälineet Lautaset Pillit Juomien sekoitustikut Vanupuikot Ilmapallojen tikut Oxo-hajoavasta muovista valmistetut tuotteet
Tuotevaatimukset		<ul style="list-style-type: none"> Juomapakkaukset ≤ 3 litraa, ml. korkit ja kannet
Merkintävaatimukset		<ul style="list-style-type: none"> Juomamukit Suodattimelliset tupakkatuotteet Kosteuspyyhkeet Terveyssiteet ja tamponit
Laajennettu tuottajan vastuu	<ul style="list-style-type: none"> Valistus Jätteen keräys ja käsittely Roskien siivous 	<ul style="list-style-type: none"> Elintarvikepakkaukset Joustavasta materiaalista valmistetut annospakkaukset ja kääreet syömävalmiille elintarvikkeille Juomapakkaukset ≤ 3 litraa, ml. korkit ja kannet Juomamukit, ml. korkit ja kannet Kevyet muoviset kantokassit
	<ul style="list-style-type: none"> Valistus Roskien siivous Tiedonkeruu ja raportointi 	<ul style="list-style-type: none"> Ilmapallot Kosteuspyyhkeet
	<ul style="list-style-type: none"> Valistus Jätteen keräys ja käsittely Roskien siivous Tiedonkeruu ja raportointi 	<ul style="list-style-type: none"> Suodattimelliset tupakkatuotteet
Erilliskeräys		<ul style="list-style-type: none"> Juomapullot ≤ 3litraa, ml. korkit ja kannet
Valistustoimenpiteet		<ul style="list-style-type: none"> Kaikki edellä mainitut tuoterihmät, pl. ne tuoterihmät, jotka kielletään (Markkinoille saattamisen rajoittaminen)

5. Suhde muihin materiaaleja ja tuotteita koskeviin vaatimuksiin ja aloitteisiin

SUP-direktiivin lisäksi pakkauksia ja varsinkin uusia materiaaleja ja niiden hyödyntämistä koskevaa lainsäädäntöä löytyy myös jätelaista ja sen nojalla annetusta kaatopaikka-asetuksesta, jolla rajoitetaan orgaanisen aineen kaatopaikalle sijoittamista, Pakkausdirektiivistä ja EU:n kiertotaloutta koskevasta toimintasuunnitelmasta. Komissio esitti maaliskuussa 2020 uuden kiertotaloutta koskevan toimintasuunnitelman⁴, jonka tavoitteena on vihreä siirtymä eli muuttaa tuotanto- ja kulutustapoja kestäviksi ja kiertotalouden mukaisiksi. Muutoksia tavoitellaan tuotteiden koko arvoketjuun ja keskeisessä roolissa ovat tuotesuunnittelu, jätteen syntymisen ehkäiseminen sekä kierrätys ja jätehuolto. Toimet kohdistetaan keskeisiin tuoteryhmiin tai materiaaleihin mm. muoveihin ja pakkauksiin. Lisäksi toimintasuunnitelman tavoitteena on lisätä kasvua, kilpailukykyä ja EU:n globaalia johtajuutta kiertotaloudessa. Toimintasuunnitelma on EU:n vuodeksi 2050 asettaman ilmastoneutraaliustavoitteen mukainen, ja tavoite on osa vihreän kehityksen ohjelmaa (EU Green Deal). Kestäviin tuotteisiin siirtyminen edellyttää myös tuotesuunnittelua ja komissio ehdottaakin ekosuunnitteludirektiivin soveltamista myös muihin kuin energiaan liittyviin tuoteryhmiin.⁵ Alla on esitetty materiaaleihin liittyvät oleelliset osat edellä mainituista säädöksistä.

Jätelaki (646/2011, viimeisimmät muutokset 15.7.2021/714)⁶

- Jätteen määritelmä: Tässä laissa tarkoitetaan *jätteellä* ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.

- 9§ (15.7.2021/714) Tuotteita koskevat huolehtimisvelvollisuudet ja kiellot:

- Tuotteen valmistajan on tämän lain tavoitteiden saavuttamiseksi huolehdittava siitä, että:

- 1) valmistuksessa käytetään säästeliäästi raaka-aineita ja raaka-aineina käytetään jätteitä, jätteestä valmistettuja raaka-aineita tai käytettyjä tuotteita tai niiden osia;
- 2) valmistuksessa vältetään ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita sisältävien raaka-aineiden käyttöä ja ne korvataan haitattomammilla raaka-aineilla;
- 3) tuotantomenetelmä valitaan siten, että valmistuksessa syntyy mahdollisimman vähän jätettä ja syntyvä jäte on terveydelle ja ympäristölle mahdollisimman haitatonta;
- 4) tuotetta ei pakata tarpeettomasti;
- 5) tuote on resurssitehokas, elinkaareltaan ja käyttöältään kestävä, korjattava, päivitettävä ja uudelleenkäytettävä sekä jätteenä kierrätettävä ja siitä ja sen käytöstä syntyy mahdollisimman vähän jätettä;

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

⁵ <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20210128STO96607/miten-eu-aikoo-saavuttaa-kiertotalouden-vuoteen-2050-mennessa>

⁶ <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>

6) tuotteesta ei jätteenä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle tai roskaantumista eikä huomattavaa haittaa tai vaikeutta jätehuollon järjestämiselle;

7) kriittisiä raaka-aineita sisältävä tuote on mahdollisuuksien mukaan uudelleenkäytettävä ja jätteenä kierrätettävä.

- Tuotteen valmistajan on tarpeen mukaan huolehdittava siitä, että:

1) tuotteessa on sen ominaisuuksia selventävät ja käyttöä, lajittelua, uudelleenkäyttöä, jätehuoltoa ja tuottajavastuun kohdentamista helpottavat merkinnät tai että siihen liitetään tiedot näistä seikoista;

2) tuotteen käyttäjille tiedotetaan tuotteeseen tehdyistä merkinnöistä ja niiden merkityksestä sekä lajittelun, uudelleenkäytön ja jätehuollon järjestelyistä;

3) jätehuollon toimijoille annetaan tarpeelliset tiedot tuotteen tai sen osien uudelleenkäytöstä, purkamisesta ja kierrätyksestä sekä vaarallisten aineiden ja osien sijainnista tuotteessa;

4) saatavilla on varaosia, käyttöohjeet, tekniset tiedot taikka muut välineet, laitteet tai ohjelmistot, jotka mahdollistavat tuotteen laadukkaan korjauksen ja turvallisen uudelleenkäytön.

- Tuotteen markkinoille saattajan ja jakelijan on tämän lain tavoitteiden saavuttamiseksi mahdollisuuksien mukaan varmistuttava siitä, että tuote täyttää 1 momentin 4–7 kohdassa säädetyt vaatimukset ja että tuote merkitään sekä siitä tiedotetaan ja annetaan tietoja 2 momentin mukaisesti.

- Jos tuotteen valmistuksessa, käytössä tai käytöstä poistamisessa syntyy jätettä, jonka on todettu tai voidaan perustellusti odottaa aiheuttavan huomattavaa haittaa tai vaikeutta jätehuollon järjestämiselle taikka vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, näiden tuotteiden valmistus, markkinoille saattaminen, vienti tai käyttö voidaan kieltää tai rajoittaa taikka asettaa sille ehtoja.

- 15 § (15.7.2021/714) Jätteiden erilliskeräysvelvollisuus

- Lajiltaan ja laadultaan erilaiset jätteet on etusijajärjestyksen toteuttamiseksi kerättävä toisistaan erillään, eikä niitä saa sekoittaa muihin jätteisiin tai materiaaleihin.

- Jätteiden erilliskeräysvelvollisuudesta voidaan poiketa vain, jos jokin seuraavista edellytyksistä täyttyy:

1) erilaisten jätteiden yhteiskeräys ei heikennä niiden laatua eikä vähennä mahdollisuuksia valmistella ne uudelleenkäyttöön, kierrättää ne tai hyödyntää ne muulla tavoin etusijajärjestyksen mukaisesti;

2) erilliskeräys ei johda parhaaseen mahdolliseen kokonaistulokseen, kun otetaan huomioon jätteen jätehuollon kokonaisvaikutukset ympäristöön;

3) erilliskeräys ei ole teknisesti toteutettavissa, kun otetaan huomioon jätteen keräyksen hyvät käytännöt;

4) erilliskeräyksen kustannukset olisivat kohtuuttomia ottaen huomioon mahdollisuudet parantaa erilliskeräyksen kustannustehokkuutta, erilliskerätyn jätteen ja siitä jalostetun uusioraaka-aineen myynnistä saatavat tulot sekä kustannukset, jotka syntyvät lajittelemattoman jätteen keräyksen ja käsittelyn kielteisistä ympäristö- ja terveysvaikutuksista.

Jäteasetus (978/2021), erityisesti sen luku 4, jossa uudet jätteiden erilliskeräystä ja hyödyntämistä koskevat vaatimukset.⁷

Pakkausjäteasetus (1029/2021), erityisesti 7 ja 8 §:ssä asetetut kierrätystavoitteet sekä 10 § vastaanoton järjestäminen.⁸

- **Orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon soveltaminen (VN3347/2018, 25.6.2018)**

- o Säännökset, joilla rajoitetaan biohajoavan ja muun orgaanisen tavanomaisen jätteen hyväksymistä tavanomaisen jätteen kaatopaikalle tulivat sovellettaviksi 1.1.2016. Niiden mukaan jätteen orgaanisen aineksen pitoisuus saa olla enintään 10 prosenttia.

Pakkauksia ja pakkausjätteitä koskeva direktiivi 94/62/EY ja viimeisin muutos 2018/852⁹ sisältäen päivitettyjä toimenpiteitä pakkausjätteen syntymisen ehkäisemiseksi ja pakkausjätteen uudelleenkäytön, kierrätyksen ja muunlaisen hyödyntämisen edistämiseksi tällaisen jätteen loppukäsittelyn vähentämiseksi, jotta voidaan edistää siirtymistä kiertotalouteen.

EU-maiden olisi kannustettava lisäämään markkinoille saatettavien uudelleenkäytettävien pakkausten (pakkaus, joka on tarkoitettu, suunniteltu ja saatettu markkinoille kestävään elinkaarensa aikana useita käyttökertoja ja joka täytetään tai käytetään uudelleen alkuperäiseen tarkoitukseen) osuutta sekä pakkausten uudelleenkäyttöjärjestelmiä ympäristön kannalta järkevällä tavalla elintarviketurvallisuutta tai kuluttajien turvallisuutta vaarantamatta. Tämä voi sisältää:

- panttijärjestelmiä
- määrällisiä tavoitteita
- taloudellisia kannustimia
- markkinoille saatettavien uudelleenkäytettävien pakkausten vähimmäisosuudet kunkin pakkaustyyppin osalta jne.

EU-maiden on myös toteutettava tarvittavat toimenpiteet kierrätystavoitteiden saavuttamiseksi. Nämä tavoitteet vaihtelevat pakkausmateriaalin mukaan. Tähän tarkoitukseen niiden on sovellettava uusia laskentasääntöjä, joita käytetään vuoteen 2025 ja vuoteen 2030 mennessä saavutettavia kierrätystavoitteita koskevaan raportointiin.

Tavoitteet

- o Vähintään 65 prosenttia kaiken pakkausjätteen painosta on kierrätettävä viimeistään 31. joulukuuta 2025 mennessä. Kierrätystavoitteet kunkin materiaalin osalta ovat:
 - 50 prosenttia muovista

⁷ <https://ym.fi/-/uusi-jateasetus-velvoittaa-nykyista-tehokkaampaan-erilliskeraykseen-ja-kierratykseen>

⁸ <https://ym.fi/-/pakkausjatteille-uudet-tiukat-kierratystavoitteet>

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121207>

- 25 prosenttia puusta
 - 70 prosenttia rautametalleista
 - 50 prosenttia alumiinista
 - 70 prosenttia lasista
 - 75 prosenttia paperista ja kartongista.
- Vähintään 70 prosenttia kaiken pakkausjätteen painosta on kierrätettävä viimeistään 31. joulukuuta 2030 mennessä. Tähän sisältyvät
- 55 prosenttia muovista
 - 30 prosenttia puusta
 - 80 prosenttia rautametalleista
 - 60 prosenttia alumiinista
 - 75 prosenttia lasista
 - 85 prosenttia paperista ja kartongista.

Olennaiset vaatimukset

EU-maiden on varmistettava, että markkinoille saatetut pakkaukset täyttävät direktiivin liitteessä II olevat olennaiset vaatimukset:

- pakkauksen koko ja paino rajoitetaan mahdollisimman pieniksi siten, että varmistetaan edelleen pakatun tuotteen vaadittava turvallisuuden, hygienian ja hyväksyttävyyden taso kuluttajan kannalta;
- vaarallisten aineiden ja ainesten pitoisuudet pakkausmateriaalissa ja sen osissa pidetään mahdollisimman vähäisinä;
- suunnitellaan uudelleen käytettäväksi ja hyödynnettäväksi sopivia pakkauksia. Tämä voi käsittää materiaalin kierrätyksen tai orgaanisen kierrätyksen sekä energian talteenoton suunnittelun.

Muutetussa direktiivissä selvennettiin kompostoimalla hyödynnettävien pakkausten sekä biologisesti hajoavien pakkausten välistä eroa ja täsmennettiin, että oxo-hajoavia muovipakkauksia (muovipakkaus, joka lisäaineensa ansiosta hajoaa mikropartikkeleiksi, mikä puolestaan lisää mikromuovien esiintymistä ympäristössä) ei katsota biologisesti hajoaviksi pakkauksiksi. On myös syytä huomata, että SUP direktiivin artikla 5 kieltää kaikkien oxo-hajoavasta muovista valmistettujen tuotteiden saattamisen markkinoille. Kielto on kansallisesti voimassa (VNA 771/2021, 19.8.2021).

Euroopan komissio tutkii parhaillaan keinoja tiukentaa olennaisia vaatimuksia uudelleenkäytettäväksi suunnittelun ja pakkausten laadukkaan kierrätyksen parantamiseksi ja perusvaatimusten täytäntöönpanon valvonnan vahvistamiseksi.

Pakkausten hyödyntämisjärjestelmät

EU-maiden olisi varmistettava sellaisten järjestelmien käyttöön ottaminen, joilla varmistetaan käytettyjen pakkausten ja/tai pakkausjätteen palauttaminen ja/tai keräys sekä kerättyjen pakkausten uudelleenkäyttö tai hyödyntäminen, mukaan lukien kierrätys.

Tuottajan vastuu

- Jäsenvaltioiden on vuoteen 2024 mennessä varmistettava, että on perustettu tuottajan vastuuta koskevia järjestelmiä¹⁰ kaikkia pakkauksia varten. Tuottajan vastuuta koskevilla järjestelmillä varmistetaan käytettyjen pakkausten ja/tai pakkausjätteen palauttamisen ja/tai keräyksen rahoitus tai rahoitus ja järjestäminen, jotta ne voidaan ohjata käsiteltäväksi tarkoituksenmukaisimpien jätehuoltoratkaisujen mukaisesti, sekä kerättyjen pakkausten ja pakkausjätteen uudelleenkäyttö tai kierrätys.

EU:n vihreän kehityksen ohjelma (EU Green Deal) on etenemissuunnitelma toimille, joiden avulla Euroopasta tulee ilmastoneutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Materiaalien käytön kannalta tämä tarkoittaa fossiilisten raaka-aineiden käytön vähentämistä tai kierrätyksen tehostamista. Ensimmäisessä vaiheessa on julkistettu rahoitussuunnitelma ja EU:n ilmastolaki (24.6.2021), Euroopan uusi teollisuusstrategia sekä EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelma. Se sisältää myös kestävä elintarvikejärjestelmän luomisen ja biodiversiteetin suojeluun liittyviä toimia.¹¹

EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelma kattaa muun muassa muovit ja pakkaukset. Vuonna 2018 julkaistiin muoveja kiertotaloudessa koskeva EU:n strategia, jossa pyritään estämään mikromuovien käyttö. Tämä strategia sisälsi aloitteen lisättyjen mikromuovien rajoittamisesta, jota Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) on valmistellut mutta komissio ei ole vielä antanut ko. aloitetta. Pakkausten osalta säännöillä pyritään varmistamaan, että vuoteen 2030 mennessä kaikkien EU:n markkinoilla olevien pakkausten uudelleenkäyttö tai kierrätys on taloudellisesti kannattavaa.¹² EU:n rakennustuotedirektiivin päivitys on myös meneillään ja tällä tulee olemaan vaikutusta rakennustuotteiden kierrätystavoitteiden asetannassa.

- EU:n kiertotalouden uusi toimintasuunnitelma (2020), sisältää useita, osin jo aiempaan kiertotalousohjelmaan sisältyneitä muovitoimia. Näistä esimerkkinä voidaan mainita seuraavat:
- Toimenpiteet, joilla puututaan tarkoituksellisesti lisättyihin mikromuoveihin ja tahattomiin muovipäästöihin
- Vaatimukset sen varmistamiseksi, että kaikkia EU:n markkinoilla olevia pakkauksia voi käyttää uudelleen tai kierrättää vuoteen 2030 mennessä (pakkausjätedirektiivin uudelleentarkastelu)
- Kierrätysmuovisisältöä koskevat pakolliset vaatimukset pakkauksille, rakennusmateriaaleille ja ajoneuvoille
- Poliittikkakehys biohajoaville ja biopohjaisille muoveille
- Kertakäyttömuoveja koskevien toimenpiteiden käyttöönotto
- Globaalin, muovin koko elinkaaren huomioivan muovisopimuksen tukeminen ja globaalin kiertotalousalustan toiminnan käynnistäminen

¹⁰ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121207#keyterm_E0003

¹¹ <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20200618STO81513/euroopan-vihrean-kehityksen-ohjelma>

¹² <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20210128STO96607/miten-eu-aikoo-saavuttaa-kiertotalouden-vuoteen-2050-mennessa>

Komission ensi vuoden (2021) työohjelmaan sisältyy mm.

a) Biopohjaisia, biohajoavia ja kompostoitavia muoveja koskeva poliittinen kehys (muu kuin lainsäädäntö, Q2 2022)

b) Mikromuovien rajoittaminen (muu kuin lainsäädäntö, Q4 2022)

c) Toimenpiteet mikromuovien vapautumisen vähentämiseksi ympäristössä (lainsäädäntö, mukaan lukien vaikutusten arviointi, Artikla 114 TFEU, Q4 2022)

EU:n Rakennustuoteasetus (entinen Rakennustuotedirektiivi) esittää rakennustuotteille seitsemän perusvaatimusta, joista kolmas sisältää hygienian, terveyden ja ympäristön liittyviä vaatimuksia ja seitsemäs luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Tämän mukaan luonnonvarojen kestäväää käyttöä koskevassa perusvaatimuksessa on erityisesti otettava huomioon rakennuskohteessa käytettyjen materiaalien ja osien kierrätettävyyden purkamisen jälkeen, rakennuskohteen kestävyys sekä ympäristöystävällisten raaka-aineiden ja uusiomateriaalien käyttö. Resurssien kestävään käytön ja rakennuskohteen ympäristövaikutusten arvioimiseksi pitäisi käyttää ympäristötuoteselosteita (Environmental Product Declarations), aina, kun sellaisia on saatavilla.

Jotta kiertotalous ja kestävä kehitys tulisi vielä paremmin otettua huomioon, 'Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma' (COM(2020) 98 final, Bryssel 11.3.2020) ehdottaa Rakennustuoteasetuksen päivitystä. Tähän sisältyy mm. ehdotus kierrätysisältöä koskevien vaatimusten käyttöönotolle tietyissä rakennustuotteissa. Komissio valmistelee parhaillaan Rakennustuoteasetuksen uudistamista.

Yhteenvetona tämän lainsäädännön pohjalta voidaan todeta, että tarkasteltavaksi valitut pakkaukset kuuluvat pääosin SUP-direktiivin piiriin ja muovin käyttöä niissä tuoteryhmissä tulee vähentää tai muoville tulee löytää vaihtoehtoisia materiaaleja. Jos kuitenkin muoveja käytetään (esimerkiksi uudelleen käytettävässä pakkauksessa), niin muovit on pyrittävä kierrättämään mahdollisuuksien mukaan. Muovien energiakäyttö on myös mahdollinen. Tässä tapauksessa biopohjaisten muovien kasvihuonekaasupäästöt ovat laskennallisesti erilaiset kuin fossiilisten, joskin lopputulos riippuu hyvin paljon laskentatavasta. Tätä vaihtoehtoa tarkastellaan lähemmin luvussa 7 sekä tuotekohtaisten tulosten yhteydessä. Kaatopaikkasijoitus ei myöskään ole toivottavaa, vaikka säädökset sallivatkin pienen määrän loppusijoituksen kaatopaikalle.

6. Biohajoavuus: yleistä tarkastelua

6.1. Muovin biohajoavuuden määritelmä

Täydellinen biohajoavuus tarkoittaa orgaanisen kemiallisen yhdisteen hajoamista mikro-organismien avulla hapen läsnä ollessa hiilidioksidiksi, vedeksi, muiden läsnä olevien alkuaineiden kivennäissuoloiksi (mineralisaatio) ja uudeksi biomassaksi, tai hapen puuttuessa hiilidioksidiksi, metaaniksi, kivennäissuoloiksi ja uudeksi biomassaksi. ¹³ Koska biohajoavuus on ajasta ja ympäristöstä riippuvaista, tulisi biohajoavuutta käsiteltäessä aina määritellä aika ja olosuhteet, jossa materiaalin on tarkoitus hajota. Kompostissa tai maaperässä biologisesti hajoava materiaali ei välttämättä hajoa biologisesti esimerkiksi vesiympäristössä. Ollakseen biohajoava, tuotteen kaikkien komponenttien on oltava biohajoavia. Koska biohajoavuus on aika- ja olosuhteriippuvaista, on sille olemassa erilaisia standardeja eri olosuhteisiin, kuten hajoaminen kompostoituaessa, maaperässä ja meriympäristössä. (Biomuoviopas 2020).

Biopohjaisuus ei ole biohajoavuuden edellytys eikä päinvastoin. Biohajoavuus ei ota kantaa materiaalin raaka-aineeseen vaan se voi olla fossiilipohjainen (esim. PBAT), biopohjainen (esim. PLA) tai niiden sekoitus. Biopohjaisten muovien lähtöaineet ovat moninaisemmat kuin perinteisten muovien. Lähtöaineina voi olla esimerkiksi tärkkelykset, proteiinit, kautsu, guttaperkka, kaseiini tai selluloosa. Toistaiseksi biopohjaisista raaka-aineista valmistetaan muoveja murtoosa fossiilisiin verrattuna. Suomessa tutkitaan paljon selluloosan käyttöä muovin raaka-aineena. Vaikka muovi tuotettaisiin biopohjaisista raaka-aineista, se voi olla ominaisuuksiltaan samanlaista kuin öljypohjainen muovi, jolloin ympäristöön joutuessaan se ei maadu.

Ympäristön mikro-organismeilla, jotka käyttävät ravinnokseen pääasiassa orgaanista ainesta, on tärkeä rooli biohajoamisessa. Kompostoituvatermistä poiketen biohajoava ei tarkoita juurikaan muuta, sillä lähes kaikki orgaaniset materiaalit hajoavat biologisesti tietyssä ajassa. Kompostoinnissa mikrobit hajottavat orgaanisen aineksen kompostiksi, jota voidaan käyttää monien hyödylliseen tarkoitukseen, kuten maanparannukseen ja lannoitukseen. Jotta kompostointi onnistuu, orgaanisessa jätteessä täytyy olla sopivasti lämpöä, vettä ja happea.

6.2. Biohajoavuuden standardit

Jotta tuotetta voidaan pitää täysin kompostoituvana, sen täytyy täyttää kaikki eurooppalaisen standardin UNI EN 13432 ja/tai yhdysvaltalaisen standardin ASTM D6400 vaatimukset. Molemmissa edellytetään, että biohajoavat/kompostoituvat tuotteet hajoavat täydellisesti kompostointiympäristössä tietyssä ajassa, eivätkä ne tuota haitallisia jäämiä.

Eurooppalainen standardi EN 13432 *”Vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Testausmenettely ja arviointiperusteet pakkauksen hyväksynnälle”* ratkaisee tämän ongelman määrittämällä, mitä ominaisuuksia materiaalilta vaaditaan, jotta sitä voidaan pitää ”kompostoituvana”, ts. että se voidaan kierrättää orgaanisesti (kompostoimalla ja/tai anaerobisesti mädättämällä). Standardi koskee muovipakkauksia ja lignoselluloosamateriaaleja. **Standardi ei koske muoveja, joita ei käytetä pakkaamiseen kuten jätteiden keräykseen käytettyjä pusseja, jotka kuuluvat standardin UNI EN 14995**

¹³ SFS-EN 13432 Pakkaukset. Vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla.

alaisuuteen. Teknisestä näkökulmasta katsottuna se on identtinen standardin UNI EN 13432 kanssa, mutta kattaa pakkaamisen lisäksi myös muita käyttötarkoituksia. Näin ollen muovit, jotka noudattavat standardia UNI EN 13432, noudattavat myös standardia UNI EN 14995, ja päinvastoin. **Maataloudessa käytetyt muovit kuuluvat standardin UNI EN 17033 alaisuuteen.** Nämä standardit ovat tärkeimmät tekniset standardit biohajoavien materiaalien valmistajille, viranomaisille, kompostojille, sertifiointielimille ja kuluttajille.

Eurooppalaisen standardin EN 13432 mukaisesti kompostoituvalla materiaalilta vaaditaan seuraavat ominaisuudet:

- Biologisesti hajoava. Määritetään mittaamalla kompostoituvan materiaalin todellinen metabolinen muuntuminen hiilidioksidiksi. Tämä ominaisuus voidaan mitata kvantitatiivisesti standardoidulla testimenetelmällä EN 14046 (joka on julkaistu myös standardissa ISO 14855: biohajoavuus valvotuissa kompostointiolosuhteissa). Hyväksyttävä taso on 90 %, ja se täytyy saavuttaa kolmessa kuukaudessa.
- Hajoaminen. Materiaali pilkkoutuu ja katoaa valmiiseen kompostiin niin, että sitä ei voi havaita silmin (visuaalisen epäpuhtauksien puuttuminen). Tätä mitataan kompostointitestillä (EN 14045). Testimateriaalia hajotetaan orgaanisen jätteen kanssa kolme kuukautta. Tämän jälkeen syntynyt komposti siivilöidään 2 mm:n siivilillä. Yli 2 mm:n suuruisia testimateriaalin jäänteitä ei katsota hajonneiksi, ja niitä täytyy olla alle 10 % alkuperäisestä massasta.
- Ei negatiivisia vaikutuksia kompostointiprosessiin tai kompostin laatuun (esim. maataloudellisen arvon väheneminen ja haitalliset vaikutukset kasvien kasvuun). Raskasmetallipitoisuudet alle ennalta määrätyn maksimiarvon. Kasvien kasvutesti (OECD-testi 208, muokattu) tehdään kompostinäytteillä, joissa testimateriaali on hajonnut. Tulos ei saa poiketa vertailukompostin tuloksesta. Muita kemiallisfysikaalisia parametreja, jotka eivät saa poiketa vertailukompostista hajoamisen jälkeen, ovat pH, suolapitoisuus, haihtuvat kiintoaineet, typpi, fosfori, magnesium ja kalium.
- Nämä kaikki vaatimukset tulee täyttää samanaikaisesti, jotta materiaali voidaan määrittää kompostoituvaksi. Biohajoava materiaali ei välttämättä ole kompostoituva, sillä kompostoituvan materiaalin täytyy myös hajota yhdellä kompostointikerralla. Toisaalta materiaali, joka hajoaa yhdellä kompostointikerralla mikroskooppiseksi palasiksi, jotka eivät ole täysin biohajoavia, ei ole kompostoituva.

Eurooppalaisen standardin EN 13432 lisäksi joillakin mailla on myös omia standardejaan, kuten yhdysvaltalainen standardi ASTM D6400 ja australialainen standardi AS4736 (standardien välillä on vain vähäisiä eroja). Esimerkiksi TÜV Austria ja DIN Certco ovat kehittäneet omat kriteeristönsä biohajoavuudelle tietyissä ympäristöissä ja myöntävät näihin sertifikaatteja, jolloin tuotteeseen voi liittää sertifikaatista kertovan, kyseisten laitosten myöntämän merkin. Näiden standardien laajalti käytetty ja tunnustettu "OK biodegradable soil -kriteeristö" on ollut pohjana uudelle, vuonna 2018 julkaistulle standardille **EN 17033** (Plastics - Biodegradable mulch films for use in agriculture and horticulture - Requirements and test methods), jossa määritellään kriteerit ja testimenetelmät biohajoaville maatalouskalvoille: > 90 % polymeerien sisältämästä orgaanisesta hiilestä on muunnuttava hiilidioksidiksi kahden vuoden kuluessa (keinoitekoisen standardimaa laboratorio-oloissa).

On huomioitava, että EN 13432 ja ASTM D6400 kertovat teollisesta kompostoituvuudesta, jossa lämpötila ym. korkeammat kuin kotitalouskompostoinnissa. Biohajoavuuden standardointi ja testaaminen luonnon olosuhteissa on vaikeaa, koska olosuhteet vaihtelevat merkittävästi paitsi eri vuodenaikojen, niin myös eri maiden välillä. **Uusi, vuonna 2020 ilmestynyt**

standardi ISO 22403 määrittelee tavat, joilla voidaan osoittaa, onko muovilla potentiaalia hajota meriolosuhteissa.

Tässä hankkeessa tarkasteltujen materiaalien standardien mukainen biohajoavuus on esitetty tarkemmin tuoteryhmäkohtaisten tulosten yhteydessä Taulukoissa 4, 8 ja 20.

7. LCA-laskennat: yleiset periaatteet ja menetelmät

7.1. Käytetty laskentamenetelmä

Eri ratkaisujen ilmastovaikutuksia tarkasteltiin elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA) avulla, käyttäen standardien ISO 14040 ja 14044 mukaisia menetelmiä. Tuotteiden ilmastovaikutuksia vertaillaan tässä raportissa ilmastoa lämmittävällä vaikutuksella, siten kuin hallitusten välinen ilmastopaneeli on sen vuonna 2013 määritellyt (IPCC GWP 2013 v.1.03). Se muuttaa erilaiset kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallisiksi hiilidioksidiekvivalenteiksi (kg CO₂ eq.) GWP arvo on kaikkien mitattujen tai arvioitujen kasvihuonekaasupäästöjen summa ja se voidaan ilmoittaa joko materiaaliyksikköä (paino, tilavuus), valmistettua tuotetta (kappalemäärä) tai toiminnallista yksikköä (esimerkiksi vaaditun eristyskyvyn täyttävä seinäneliö) kohden. GWP:n laskenta tulisi perustua aina tarjontaketjukohtaiseen resurssien käytön ja suorien emissoiden inventaariin, mutta vertailtaessa erilaisia materiaaleja joudutaan usein turvautumaan generiseen tietokantatietoon ja erityisesti uusien ja harvinaisempien materiaalien osalta valmiiksi laskettuihin GWP arvoihin. Tämä heikentää merkittävästi lopputuloksen luotettavuutta, sillä eri laskelmissa käytetty rajaukset voivat vaikuttaa merkittävästi lopputuloksiin. Lisäksi GWP arvon laskentatavat ovat muuttuneet merkittävästi 2000-luvun aikana.

IPCC GWP 2013 v.1.03-metodi erottelee fossiiliset ja biogeeniset hiilidioksidin päästöt ilmakehään. Molemmilla on ilmakehässä samanlainen lämmittävä vaikutus. Kasvisperäinen biogeenisen hiilidioksidi tulkitaan kuitenkin osaksi ilmakehän ja kasvien välistä hiilenkiertoa, joka on ainakin pitkällä ajalla tasapainossa, eikä tässä metodissa vaikuta ilmaston lämpenemiseen. Sen sijaan fossiilinen päästö tulee maaperään varastoituneesta uusiutumattomasta lähteestä ja lisää absoluuttisesti ilmakehään joutuvan hiilidioksidin määrää ja emissio vaikuttaa suoraan GWP arvoon. Tässä raportissa vertailtavien fossiilisten, kasviperäisten ja mineraalisten materiaalien välillä biogeenisten ja fossiilisten päästöjen ero on merkittävä. Sen vuoksi raportissa tarkastellaan myös materiaalien ja tuotteiden valmistuksesta ja käytöstä poistosta syntyviä biogeenisiä hiilidioksidipäästöjä. Näitä ei kuitenkaan lasketa yhteen fossiilisten päästöjen kanssa ilmastoa lämmittävänä vaikutuksena. On kuitenkin syytä huomata, että jos biopohjaisen raaka-aineen hyödyntäminen vaikuttaa pitkällä aikavälillä biogeenisiin hiilivarastoihin (biomassan ja maaperään varastoitunut hiili), esimerkiksi maankäytön muutosten seurauksena, nämä muutokset tulisi laskea osaksi ilmastoa lämmittävää vaikutusta (LULUC-GWP). LULUC-päästöjen selvittäminen vaatii tuotekohtaista tarkastelua esim. raaka-aineen alkuperästä ja tuotantotavoista. Lisäksi vakiintunutta menetelmää biogeenisten hiilivarastojen muutosten arvioimiseen ei vielä ole käytössä. Tämän vuoksi LULUC-päästöjä ei ole tämän raportin laskelmissa huomioitu, mutta niiden potentiaalisesta merkityksestä keskustellaan tulosten yhteydessä. LULUC-päästöjen nykyisiä laskentamenetelmiä ja niihin liittyviä haasteita yleisellä tasolla kuvataan myös lyhyesti kappaleessa 7.2.

Yleisesti tässä hankkeessa ilmastovaikutusten laskennassa on käytetty yhdenmukaisuuden vuoksi ja mahdollisuuksien mukaanecoinvent v. 3.7 aineistoja materiaaleista, valmistusprosesseista ja jätteen käsittelystä. Rakennustuotteiden ilmastovaikutukset ja jäteskenaariot on kerätty ensisijaisesti rakentamisen päästötietokannasta (co2data.fi). Systeimirajana jätteenkäsittelyssä on joko käytöstä poisto tai siirtyminen uuteen käyttötarkoitukseen (ns cut-off periaate). Jätteen käsittelymenetelmäksi on valittu materiaalikohtaisesti nykyisin käytössä oleva menetelmä siten, että esimerkiksi muovit ja puuperäinen jäte pääsääntöisesti poltetaan. Kompostoituvat materiaalit ohjataan kompostiin ja mädätykseen. Mineraalipohjaiset materiaalit, joita ei

voi polttaa tai kierrättää haudataan maahan. Koska nykyisin jo osa käytöstä poistetusta muovista kierrätetään, kierrätyksen ilmastovaikutuksia tarkastellaan erikseen.

Maantieteellisesti PE ja PP muovien valmistuksen oletetaan tapahtuvan Suomessa, siten ettäecoinvent 3.7 materiaaliprosessin verkkosähkön käytössä on kotimaiset päästöt (154 g CO₂ eq. kWh⁻¹). Muiden makeiskääreissä ja salaattipakkauksissa käytettävien materiaalien osalta on käytetty saatavuuden mukaan Euroopan, Euroopan ilman Sveitsiä, Sveitsin tai globaalia markkinaprosessia, joka kuvaa eri lähteistä olevan materiaalin saatavuutta kyseisellä alueella. Muovituotteiden suulakepuristuksessa tai lämpömuovauksessa, on käytetty ecoinvent v.3.7 prosessia, mutta kotimaisella verkkosähkön profiililla.

Kartonki ja paperituotteissa vastaavia ecoinvent prosesseja on muokattu niin, että käytetty puumateriaali vastaa pohjoismaisen metsänhoidon ja puunkorjuun ilmastovaikutuksia. Sähkön käytön profiili on kotimainen verkkosähkö.

Tuotteille, joista ei ole saatavilla yksikköinventaaria ecoinvent tietokannasta, on ilmastovaikutukset inventoitu joko valmistajan oman ilmoituksen tai tieteellisen kirjallisuuden perusteella. Näin on erityisesti biopohjaisten muovien osalta. PureFibre-tuotteen osalta on käytetty valmistajan omien laskelmien tavoin Ruotsin sähköprofiilia, joka koostuu lähes kokonaan (98 %) päästöttömiksi luokitelluista energialähteistä (vesivoima, ydinvoima, tuuli, biomassa). Mikäli ilmoitetusta GWP arvosta on vähennetty materiaalin sitoutunut biogeeninen hiili, ilmoitettua ilmastovaikutusta on korjattu vastaamaan vaikutusarvioinnissa käytettyä IPCC GWP 2013 v.1.03 metodia. Rakentamisen tuotteille ensisijainen lähde on SYKE:n ylläpitämä rakentamisen päästötietokanta.

EU on asettanut kierrätettävän pakkausmuovin kokonaistavoitteeksi 50 % vuoteen 2025 (ks. kappale 5) kun nykytaso Suomessa on 42 %. Pakkausmuovituotteiden kierrätysjärjestelmä kierrättää nykyään 27,5 % pakkausmuoveista, jos yleisesti kierrätettyjä PET-pulloja ei oteta huomioon (Muoviteollisuus ry), ja tätä kierrätysastetta on käytetty perustasona tämän hankkeen LCA-laskelmissa. Lisäksi LCA laskelmissa tarkastellaan 50 % tavoitetta keräysasteesta PE-kalvoille ja PET-rasioille. Koska noin 20 % kerätyistä muovipakkauksista joudutaan hylkäämään (Dahlén et al., 2013), tämä keräysaste vastaa näille tuotteille 40 % kierrätystä; se on merkittävästi vaativampi kuin EU:n tavoite, joka sisältää myös PET-pullot. Kierrätyksestä hylätty muovi, samoin kuin valmistusjätteet hävitetään polttamalla. Kierrätyskelpoinen muovi korvaa neitseellisen muovin käyttöä, jonka valmistuksesta olisi syntynyt ilmastoa lämmittäviä päästöjä. Nämä laskennalliset emissiot lasketaan raportissa kierrätysjärjestelmän tuottamaksi ilmastohyödyksi (materiaalikrediitti). Kierrätettävän muovin lajitteluun ja puhdistukseen arvioidaan kuluvan sähköä 3,01 kWh kg⁻¹ (Dahlén et al., 2013), sitä vastaava GWP on tässä raportissa 0,464 kgCO₂ eq, joka vähennetään mahdollisesta materiaalikrediitistä.

Ruotsissa tehdyn raportin (Liljenström & Finnveden (2015) mukaan muovin kierrätyksen elinkaariarvioinneissa on ollut yleistä olettaa korvaussuhde 1:1 (Lazarevic et al., 2010). Muita ehdotuksia ovat 1:0,8 suuritiheyksiselle polyeteenille (HDPE) ja 1:0,7 pienitiheyksiselle polyeteenille (LDPE) (Carlsson, 2002), 1:0,95 (Raadal et al., 2008), 1: 0,8 (Schmidt ja Strömberg, 2006) ja 1:0,81 (Rigamonti et ai., 2009). Monet substituutiosuhteista perustuvat oletuksiin, eikä näiden oletusten taustalla olevia perusteluja ole selkeästi dokumentoitu (Lazarevic et al., 2010). FTI ja Profu (2013) käyttivät analyysissään korvaussuhdetta 1:1. Tämä suhde perustui muovin kierrättäjien tietoihin, joiden mukaan kierrätysmuovin laatu oli samaa luokkaa kuin neitseellisen muovin. Korvaussuhde koskee sekä jäykkää että ei-jäykkää muovia. Kierrätetty HDPE voi Carlssonin (2002) mukaan korvata neitseelliset muovit suhteessa 1:1. Kierrätettyä HDPE:tä käytetään pääasiassa ruiskupuristetuissa tuotteissa, joissa on paksut seinät, eikä se siksi ole herkkä raaka - aineen mahdollisesti heikentyneelle laadulle. Ohutseinäiset tuotteet, kuten muovipussit, voivat

kuitenkin olla herkkiä uudelleenrakeistetun aineen laadulle. Suurempi määrä kierrätettyä kuin neitseellistä muovia tarvittaisiin saman lujuuden ja toiminnallisuuden takaamiseksi. Siinä tapauksessa korvaussuhde 1:0,7 on kohtuullinen.

Tässä hankkeessa tarkasteltiin myös erilaisten kertakäyttöisten rakennusmuovien ja maatalouden katepeitteiden korvaavia ratkaisuja. Käytössä olevien PE ja PP kalvojen ilmastovaikutukset on mahdollista arvioida, mutta korvaavien tuotteiden materiaalikoostumuksesta ja valmistuksesta ei ole olemassa riittäviä tietoja. Lisäksi erityisesti kasvatuspeitteiden ongelmana on funktionaalisen yksikön määrittely, sillä osa korvaavista materiaaleista pitäisi uudelleen käyttöä varten kerätä pelloilta kasvukauden jälkeen, tai kyntää maahan. Tämän vaatimista resursseista ja vaikutuksista pitkällä ajalla peltojen käyttöön ei ole olemassa riittävää tietoa.

7.2. LULUC- ja biogeeniset kasvihuonekaasupäästöt LCA-laskennassa

LCA-laskentojen yleiset standardit ISO14040 ja 14044 eivät määrittele erikseen LULUC-päästöjen (maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt) laskentaohjeita. Sen sijaan hiilijalanjäljen laskentastandardi ISO14067 määrittää, että suorien maankäytön muutosten aiheuttamat hiilivarastojen muutokset pitää ottaa laskennassa huomioon. Tämä sisältää sekä välittömän hiilen poistuman, että hiilivaraston asteittaisen muutoksen maankäytön muutoksen seurauksena. Tämä muutos tulee allokoita tuotteille, jotka tuotetaan kyseisellä maa-alueella tarkastelujakson aikana. On kuitenkin syytä huomata, että esimerkiksi metsikön (tai pellon) kiertoajan kuluessa tapahtuvaa korjuuta (esimerkiksi hakkuut) ja uudelleenkasvua ei lasketa maankäytön muutokseksi, eikä näistä tekijöistä johtuvia hiilivaraston muutoksia huomioida LCA-laskennassa.

Myös ISO14067 jättää avoimeksi monia hiilivarastolaskennan kannalta keskeisiä kysymyksiä, kuten tarkastelun referenssitason ja aikaskaalan. Nämä tekijät on määritelty tarkemmin esim. PAS2050:2011-ohjeistuksessa, joka on otettu laskennan perusteeksi myös Euroopan komission Product Environmental Footprint (PEF) ohjeissa, ja myös JRC:n ohjeistuksessa *"Life Cycle Assessment (LCA) of alternative feedstocks for plastics production"*¹⁴. PAS2050:2011 –ohjeen mukaan maankäytön muutoksia huomioiva ajanjakso on joko 20 vuotta tai koko kiertoaika, riippuen siitä, kumpi jakso on pitempi. Näin ollen voidaan ajatella, että metsätalouden tuotteita tarkasteltaisiin soveltaen kiertoajan pituista tarkastelujaksoa, kun taas 20 vuoden jakso soveltuisi peltokasveista saatavaan materiaaliin. Ohjeistuksen mukaan maankäytön muutoksista aiheutuvat hiilivarastojen muutokset kohdennetaan koko muutosta seuraavalle tarkastelujaksolle, ja tuotteille, jotka valmistetaan tarkastelualueelta saatavista raaka-aineista kyseisenä aikana. On tärkeää myös huomata, että PAS2050 ja PEF –ohjeiden mukaan yli 20 vuotta (tai kiertoajan pituista jaksoa) aikaisempia maankäytön muutoksia ei huomioida tuotteen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa.

Yleisesti voidaan todeta, että jos biopohjaisen raaka-aineen tuotanto johtaa hiilivarastojen muutokseen joko pysyvän maankäytön muutoksen seurauksena tai toimenpiteiden muutosten seurauksena siten, että metsän tai pellon hiilivarastot pienevät pysyvästi, raaka-ainetta ei näissä tapauksissa voi tulkita täysin uusiutuvaksi. Tällöin näissä muutoksissa ilmakehään vapautunut hiilidioksidi pitäisi huomioida LCA-laskennoissa, ja laskea mukaan tuotteiden ilmastovaikutuksiin. Jos biopohjainen materiaali on täysin uusiutumaton, kaikki sen poltossa vapautuva hiili

¹⁴ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125046>

lasketaan kasvihuonekaasupäästöksi, samoin kuin fossiilisten materiaalien osalta. Joissain tapauksissa biopohjaisten materiaalien käytön aiheuttamat päästöt voivat olla tuotteen sisältämä hiilimäärää kohden jopa suuremmat kuin fossiilisten. Esimerkiksi niiden tuottaminen voi vapauttaa tuotteisiin sitoutuneen hiilen lisäksi myös muuhun biomassaan ja maaperään varastoitunutta hiiltä. Tyypillinen esimerkki tällaisista maankäytön muutosten päästöistä on Etelä-Amerikassa tapahtuva sademetsien raivaaminen pelloksi. Näillä alueilla tuotetuilla viljelykasveilla maankäytön muutosten seurauksena aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovatkin tämän laskentamenettelyn mukaan moninkertaiset verrattuna muihin tuotannossa syntyviin päästöihin.

Biogeenistä hiiltä on varastoituneena biomassan ja maaperän lisäksi myös biopohjaisissa tuotteissa. Yleisesti näiden tuotteiden hiilivarastojen muutoksia ei huomioida LCA-laskennassa siksi, että nämä varastot katsotaan olevan suhteellisen lyhytaikaisia, eikä lyhytkiertoisien hiilen vaikutusta kasvihuonekaasutaseisiin pidetä merkittävinä. Kuitenkin mm. PAS2050:2011 ja PEF –ohjeistusten mukaan tuotteisiin varastoitunut hiili lasketaan hiilen sidonnaksi (eli negatiiviseksi päästöiksi), jos tuotteen käyttöikä on yli 100 vuotta. Näin ollen biopohjaiset tuotteet voidaan tulkita nettohiilensitojiksi, jos hiili pysyy niissä varastoituneena yli 100 vuotta, ja toisaalta niiden valmistus ei aiheuta maankäytön muutoksista johtuvia hiilipäästöjä, joiden suuruus ylittää tuotteen sitoutuneen hiilen määrän. Tuotteisiin varastoituneen hiilen merkitystä kasvihuonekaasutaseiden kannalta tarkastellaan erikseen tuoteryhmäkohtaisten tulosten yhteydessä.

Edellä tarkasteltujen suorien maankäytönmuutosten lisäksi biopohjaisten tuotteiden valmistus voi aiheuttaa myös epäsuorista maankäytön muutoksista johtuvia päästöjä. Tästä esimerkkinä on biopolttoaineiden ja biomateriaalien valmistaminen peltokasveista, jolloin kyseistä peltoaluetta ei voi käyttää ruoan tuotantoon. Tämä saattaa aiheuttaa painetta lisätä ruoantuotannon peltoalan määrää, ja johtaa esimerkiksi metsien raivaamiseen pelloksi. Edellä mainitut PAS2050 ja PEF –ohjeistukset toteavat kuitenkin yksiselitteisesti, että epäsuoria maankäytön muutoksia ei tule huomioida LCA-laskennassa, koska niiden vaikutukset ovat hyvin tulkinnanvaraisia. Toisaalta biopolttoaineiden RED II –direktiivi edellyttää myös epäsuorien maankäytön muutosten huomioimisen, ja määrittää alustavat päästökertoimet viljakasveille, sokerille ja öljykasveille. Nämä kertoimet sisältyvät myös edellä mainittuun JRC:n biomuoviohjeistukseen. Yhtenäisten ohjeiden puuttumisen ja tarkastelumenetelmiin ja raaka-aineiden alkuperään liittyvien epävarmuuksien takia epäsuoria maankäytön muutoksia ei tarkastella tämän hankkeen LCA-laskennoissa, mutta tulevaisuudessa on syytä kehittää laskentamenetelmiä niin, että suorat ja epäsuorat maankäytön muutokset voitaisiin yhdenmukaisemmin huomioida erityyppisille tuotteille ja myös eri sektoreiden välisessä päästötarkastelussa.

8. Tuoteryhmäkohtaiset tulokset

8.1. Pakkaaminen / kertakäyttöiset muoviset salaattipakkaukset

8.1.1. Materiaalit kertakäyttöisissä muovisissa salaattipakkauksissa

Tässä osiossa käsitellään salaattipakkauksia, joita käytetään sekä kaupassa, ravintolassa, pika-ruokalassa tai muualla elintarviketeollisuuden tuotantolaitosten ulkopuolella annosteltavien ns. annossalaattien, että salaattivihannesten pakkaamiseen. Valmiiksi syötäväksi valmistettujen salaattien pakkaukset on rajattu sellaisiin tapauksiin, joissa salaattia ei ole pakattu suojakaasuun, sillä suojakaasun käyttö asettaisi esimerkiksi kuitupakkauksille liian vaativat reunaehdot. Toisaalta suojakaasu vaikuttaa myös annosten säilyvyyteen, mikä täytyy ottaa tulosten tarkastelussa huomioon.

Edellä mainitut tyypilliset salaattipakkaukset voidaan karkeasti jaotella kahteen eri tyyppiin, joissa tavallisimmin käytetyt muovilaadut ja pakkausten valmistusmenetelmät poikkeavat selkeästi toisistaan: 1. lämpömuovattu jäykkärakenteinen salaattirasia, jossa mukana suljettava kansi joko integroituna sarana-tyyppisesti pohjarasiaan tai erillisenä kalvona pakkauksen pinnalla, 2. ohut pakkauskalvo joko kääreenä tai kuumasaumattuna pussina.

Edellä kuvatun lämpömuovattun salaattipakkauksen materiaalina käytetään tyypillisimmin läpinäkyvää, kirkasta polyetyleenitereftalaattia (PET) joko amorfisessa muodossa (A-PET) tai glykolimodifioituna (PET-G). Materiaalin amorfinen kiderakenne tai pehmentäminen muokkaamalla glykolilla mahdollistaa kalvon lämpömuovauksen syviin kuppimaisiin rakenteisiin ja antaa joustoa, jota tarvitaan mm. saranarakenteissa. Jäykkä pakkaus rakenne suojaa salaattia mekaanisessa käsittelyssä ja suljettu rasia antaa hygieenistä suojaa, säilyttää salaatille sopivan kosteuden, estää valmissalaatteja leviämästä lattialle esimerkiksi paketin putoamistilanteessa, mahdollistaa tuotetietotarrojen kiinnityksen ja läpinäkyvyys mahdollistaa salaatin sisällön tarkastelun avaamatta pakkausta. Pakkauksissa käytössä oleva PET on suurimmalta osin öljypohjaista, vaikka markkinoille on tullut PET-muovi, jossa 30 % raaka-aineesta on lähtöisin uusiutuvista luonnonvaroista. Kyseisen osittain uusiutuvista raaka-aineista lähtöisin olevan muovin määrä tulee vähitellen kasvamaan eri tuotteissa, sillä se on materiaaliominaisuksiltaan hyvin samanlainen kuin öljypohjainen PET ja voidaan käyttää vastaavissa sovelluksissa. Tällä hetkellä bio-PET:n osuus on noin 0,5 % PET:n valmistuksesta, mutta käytön vuosittainen kasvuennuste on 11–28 % riippuen lähteestä. PET ei ole biohajoava tai kompostoitava, mutta on täysin kierrätettävä materiaali sekä mekaanisesti että kemiallisesti. Sen talteenottoon ja kierrätykseen on jo olemassa olevat menetelmät esimerkiksi RINKI-pakkauskierrätyspisteiden kautta. PET muovien ominaisuuksia on esitetty Taulukossa 2.

Ohut, päältä avonainen, lämpösaumattu pakkauskalvo salaattien ja yrttien ympärillä on tyypillisimmin joko lineaarisesta polyeteenistä (LDPE) tai polypropeenista (PP) valmistettua kalvoa. LDPE:stä valmistettua kalvoa voidaan käyttää myös lämpömuovattun salaattiasian kannessa kuumasaumattuna hygieniasuojana ja kosteuden säilyttäjänä. Avonaisena salaattien kääreenä se antaa tuotteelle helpompaa kuljetuksen aikaista käsiteltävyyttä ja osittaista hygieniasuojaa sekä auttaa salaattinippua pysymään koossa kuljetuksen aikana. Kääreeseen tyypillisesti painetaan kaikki tarvittava tuotetieto. Kalvot soveltuvat käytettäväksi automatisoiduissa pakkauskohteissa ja ovat hyväksytyjä elintarvikekontaktiin. Molempien muovien keräys kierrätykseen on

mahdollista RINKI-pakkauskierrätys-pisteiden kautta ja molemmista pystytään jo nyt valmistaamaan uusiomuovia uudelleen käytettäväksi; sekä LDPE:n että PP:n mekaaninen kierrätettävyyden on hyvä. Useat suuret globaalit muovinvalmistajat kehittävät myös kemiallisen kierrätyksen menetelmiä. Lisää LDPE ja PP muovien ominaisuuksia on esitetty alla (Taulukko 2).

Kaikki edellä mainitut materiaalit (PET, LDPE ja PP) kuuluvat SUP-direktiivin piiriin. Lämpömuovattujen, kovien annospakkauksien kulutusta on vähennettävä ja niiden sekä kalvomaisten annospakkausten kohdalla sovelletaan laajennettua tuottajavastuuta.

Taulukko 2. Tällä hetkellä kertakäyttöisissä muovisissa salaattipakkauksissa yleisimmin käytettyjen muovien tyypillisiä ominaisuuksia.

Materiaali	Sovelluskohtaiset vaatimukset, jotka materiaali täyttää	Suhde SUP-direktiiviin	Tyypillinen määrä pakkauksessa		Fysikaalisia ominaisuuksia
			Kalvot	Astia	
PP, BOPP (Öljypohjainen) Ref. matweb.com	Mekaaninen suojaus Kosteussuoja/ hengittävyys (mahdollinen rei'itys) Estetiikka / läpinäkyvyys Laaja käyttölämpötila Repäisyjuisuus Soveltuu automaattipakkaamiseen Painettavuus Ruokakontakti hyväksyntä Kuumasaumattava	SUP materiaali	Määrä 40 g/m ² , (~45 µm), määrä pakkauksessa (arvio) 2 x 25 x 20 cm ² → 4 g Tyypillinen pakkaus OPP 20-45 µm	-	Kalvon vetolujuus (myötö): 6–28 MPa Venymä (myötö): 7–33 % Kimmomoduuli: 0,7–7,5 GPa Tiheys: 0,895–0,92 g/cm ³ Käyttölämpötila: -18...+130°C Läpinäkyvyys: 85–90 %
LDPE: LDPE tai polyolefiini mokerroskalvo (Öljypohjainen) Ref. matweb.com	Mekaaninen suojaus Kosteussuoja/ hengittävyys (mahdollinen rei'itys) Estetiikka / läpinäkyvyys (osittainen) Laaja käyttölämpötila Repäisyjuisuus Soveltuu automaattipakkaamiseen Painettavuus Ruokakontakti hyväksyntä Kuumasaumattava	SUP materiaali	Määrä 40 g/m ² , (~45 µm), määrä pakkauksessa (arvio) 2 x 25 x 20 cm ² → 4 g Tyypillinen pakkaus LDPE 15-60 µm	-	Kalvon vetolujuus (myötö): 3–38 MPa Venymä (myötö): 5–520 % Kimmomoduuli: 0.14–0.48 GPa Tiheys: 0.91–0.94 g/cm ³ Käyttölämpötila: -20...+90°C (80°C) Läpinäkyvyys: 55–90 % (läpikuultava, vaalea)
PET film (Öljypohjainen) www.m-pet-film.de/en/film-ty-pes Mangaraj, et. al. 2009	Mekaaninen suojaus Kosteussuoja/ hengittävyys (mahdollinen rei'itys) Estetiikka / läpinäkyvyys Laaja käyttölämpötila Repäisyjuisuus Soveltuu automaattipakkaamiseen Painettavuus Ruokakontakti hyväksyntä Kuumasaumattava	SUP materiaali	Tyypillinen pakkaus 12–300 µm	-	Vetolujuus (myötö): 220–270 MPa Venymä (myötö): 70–110 % Kimmomoduuli: 2.8–5.0 GPa Tiheys: 1,37–1,38 g/cm ³ Käyttölämpötila: -40...+220°C Läpinäkyvyys: 89–90 % (kirkas, läpinäkyvä)
A-PET Amorfinen PET, käyttö lämpömuovatuissa pakkauksissa PETG (Glykoli modifioitu PET) lämpömuovattavat pakkaukset (Öljypohjainen)	Lämpömuovautuvuus Mekaaninen suojaus Kosteussuoja/ hengittävä (mahdollinen rei'itys) Estetiikka/ läpinäkyvyys Soveltuu automaattipakkaamiseen Painettavuus Ruokakontakti hyväksyntä Kuumasaumattava	Voi olla uudelleensuljettava -> riittäkö kierrättämään SUP-direktiivin? Täysin kierrätettävä pakkaus, mutta SUP-listalla	-	Tyypillinen pakkauksen paino 30 g	Vetolujuus (myötö): 55 MPa Venymä (myötö): 4 % Kimmomoduuli: 2,1–2,4 GPa Iskulujuus 1–10 kJ/m ² Tiheys: 1.33–1.35 g/cm ³ Käyttölämpötila: -40...+70°C (60°C) Läpinäkyvyys: >87 % (kirkas läpinäkyvä) matweb.com www.petresin.org

Fossiilisia muoveja valmistetaan yleensä öljystä petrokemian prosesseissa, mutta niitä voidaan valmistaa myös maakaasusta. Esimerkiksi Yhdysvalloissa maakaasun käyttö muovin valmistuksessa on yleistynyt sitä mukaa kun liuskekaasun tuotanto on kasvanut. Suurin syy maakaasun käyttöön muovien valmistuksessa on sen runsas saatavuus ja öljyä edullisempi hinta. Maakaasun merkitys muovien raaka-aineena kuitenkin vaihtelee maittain ja maanosittain.

Fossiilisten muovien saatavuus on yleensä hyvä, ne ovat hinnaltaan edullisia ja niillä on hyvät toiminnalliset ominaisuudet. Viimeisen vuoden aikana monien fossiilisten muovien hinnat ovat kuitenkin kohonneet selvästi fossiilisten raaka-aineiden hinnan noustua, muovien globaalin kysynnän lisääntyttyä ja erilaisten logistiikkahäiriöiden takia. Myös muovien tuottajien voittomarginaalit ovat tällöin kasvaneet; esimerkiksi syksyllä 2021 useat suuret eurooppalaiset fossiilisten muovien tuottajat ovat raportoineet tavanomaiseen nähden kaksinkertaisista marginaaleista.

8.1.2. Korvaavat materiaalit kertakäyttöisissä salaattipakkauksissa

Kertakäyttöisissä salaattipakkauksissa käytettävien materiaalien mahdollisia korvaajia voidaan tarkastella useasta lähtökohdasta. Jos tarkastelun kriteerinä on ainoastaan suhde SUP-direktiiviin ja oletusarvona, että kyseisen kertakäyttöpakkauksen tulee täyttää sellaisenaan ja suoraan korvaavana tuotteena (vain materiaalia vaihtamalla) SUP-direktiivin vaatimukset, rajoittuu materiaalilista hyvin lyhyeen. Mahdollisia pakkausmateriaaleja ovat tuolloin paperi-, kartonki- ja metallipohjaiset (esimerkiksi alumiinivuoka) ratkaisut. Kyseisiin materiaaleihin liittyy kuitenkin myös haasteita esimerkiksi riittävästä kosteussuojasta, pakkaukseen painosta ja myös mahdollisista ympäristövaikutuksista.

Taulukossa jäljempänä (Taulukko 3) on esitelty edellä mainittujen lisäksi myös mahdollisia uusiutuvista raaka-aineista lähtöisin olevia materiaaleja, jotka voisivat tulla kyseeseen korvaavina pakkausmateriaaleina edellyttäen, että pakkaus on suunniteltu useita kertoja käytettäväksi (ei SUP-direktiivin alainen) ja että materiaali voidaan kierrättää jo olemassa olevien keräys- ja pakkausmateriaalien kierrätysmenetelmien kautta materiaalina uudelleen käytettäväksi. Tällöin kyseeseen tulevat myös biopohjaiset muovit, jotka voidaan hyödyntää uudelleen kierrättämällä, sekä kartongit ja paperipohjaiset materiaalit, jotka on pinnoitettu käyttösovelluksen vaatimusten mukaisesti. Näin esimerkiksi kartongit saavat riittävän ja tarvittavan kosteussuojan.

Ominaisuudet, jotka kertakäyttöisen salaattipakkauksen tulisi minimissään täyttää ovat:

1. Mekaaninen suoja, joka mahdollistaa tuotepakkauksen käsittelyn ja hygieenisen siirron matkalla tuottajalta kuluttajalle.
2. Kosteudenkesto, joka estää kasvien sisältämän kosteuden ja annossalaatissa olevia kastikkeita imeytymästä pakkauksen rakenteeseen sekä säilyttää kosteustasapainon tuotteessa.
3. Rasvankesto/öljynkesto kastikkeita sisältävissä salaattiannoksissa.
4. Ruokakontaktiin hyväksytty materiaali
5. Soveltuvuus automaattisiin pakkauslinjoihin
6. Painettavuus, tuotetietojen painamiseksi pakkaukseen. Myös erillisten kierrätyksessä irrotettavien tarrojen käyttö mahdollista. Tarrojen ja liimojen on tällöin myös oltava SUP-direktiivin mukaisia.
7. Kuumasaumautuvuus, sekä pussimuotoisen pakkauksen saumojen sulkemiseen, että joissain tapauksissa pakkauksen kannen sulkemiseen.
8. Esteettisyys / läpinäkyvyys, joko kokonaan tai pakkauksessa olevan ikkunan läpinäkyvyys, mikä mahdollistaa tuotteen sisällön ja tuoreuden tarkastelun avaamatta pakkausta.

Edellä mainitut numeroinnit ovat samat kuin Taulukossa 3 sarakkeessa *Sovelluskohtaiset vaatimukset*.

Taulukko 3. Mahdollisia korvaavia materiaaleja öljypohjaisille PE-, PP- ja PET-muoveille ker-takäyttöisissä salaattipakkauksissa, joissa ei ole käytetty suojakaasua pakkaamisessa.

Materiaali	Sovelluskohtaiset vaatimukset, jotka materiaali täyttää	Suhde SUP-direktiiviin	Tyypillinen määrä pak-kauksessa		Biohajoavuus luonnossa / teollisesti	Fysikaaliset ominaisuudet ym.
					Kierrätys	
Bio-PE (LDPE) 100 % biopohjainen	Kemiallisesti vastaava kuin öljypohjainen LDPE ja täyttää samat vaatimukset 1–8.	SUP materiaali	Sama kuin LDPE	4 g	EI/ EI Kierrätys ok	Ainoa ero öljypohjaiseen LDPE:n nähden on biopohjaisuus. Teknisesti joitain eroja lähinnä prosessoitavuuteen liittyen
Bio-PET 30 % biopohjainen	Kemiallisesti vastaava kuin öljypohjainen PET. Yhteensopiva PET-kierrätys-menettelmien kanssa. Täyttää vastaavat vaatimukset kuin öljypohjainen PET eli 1–8.	SUP materiaali. Uudelleen suljettavan pakkaamisen status SUP:n suhteen selvitettävä	Sama kuin PET:llä, Tyypillinen pakkaus 12–300 µm		EI/ EI Kierrätys ok	Ainoa ero öljypohjaiseen PET:n nähden on biopohjaisuus. Teknisesti joitain eroja lähinnä prosessoitavuuteen liittyen. Tällä hetkellä bio-PET-laadut sopivampia kalvoiksi kuin lämpömuovaukseen 20–40 % kalliimpi kuin öljypohjainen.
PLA 100 % biopohjainen	Saatavana kalvoina ja lämpömuovaukseen soveltuvana. Täyttää vaatimukset 1–8. Estetiikka: hieman kellertävä materiaali.	SUP materiaali Kierrätettävissä oleva polyes-teri. Useita menetelmiä kehitteillä. Jonkin verran sallitaan myös PET-kierrätyksessä.	Määrä 50 g/m ² (45 µm), tyypillinen pakkaus 2x (25cmx20 cm) → 5 g Tyypillinen kalvon paksaus 10–80 µm	Lämpömuovatu- na 30 g	EI/ KYLLÄ Kierrätys teoriassa ok. Useita menetelmiä kehitteillä. Logistiikka?	Vetolujuus (myötö): 45–90 MPa Venymä (myötö): <5 % Kimmomoduuli: 3–7 GPa Iskulujuus (Izod notched): 16 J/m Tiheys: 1,24–1,27 g/cm ³ Käyttölämpötila: 0–40°C (55°C) (saatavilla myös lajeja, jotka kestävät korkeampia lämpötiloja) Läpinäkyvyys: <95 % riippuu laadusta ja prosessoinnista, läpinäkyvä) <i>Total-Corbion ; Naser 2021</i>
PBS, PBSA, PBAT Kokonaan tai osittain biopohjaisia lajeja riippuen polyesterityypistä (Valmistajat mm. BASF ja MCPPE)	Kompostoituvia kalvoja Paperin pinnoitteena antamassa barrier-ominaisuuksia Käytetään monessa tuotteessa seostettuna PLA:n kanssa Täyttää vaatimukset 1–7. Estetiikka: osa materiaaleista kellertäviä, sameita.	SUP materiaali	Määrä 50 g/m ² (45 µm), tyypillinen pakkaus 2x (25cmx20 cm) → 5 g Voidaan valmistaa min 10 µm paksuuteen	30 g (PLA-seos)	KYLLÄ Kotikompostissa ja maaperässä / KYLLÄ Muovina kierrätys teoriassa ok. Ei kerätä erikseen. Pulperoitavissa paperin kierrätyksessä.	Vetolujuus (myötö): 35–44 MPa Venymä: 560–740 % Kimmomoduuli: 0,2–0,6 GPa Iskulujuus (Izod): 24 J/m (PBAT) Tiheys: 1.24-1.26 g/cm ³ Vicat A/50 91°C (PBAT) HDT 89°C (bioPBS) Läpinäkyvyys: <82% <i>BASF; PTT-MCC (MCPPE)</i>
PHA Useita lajeja koviasta joustaviin Tässä tarkastelussa joustava PHBV 100 % biopohjainen.	Kompostoituvia kalvoja Paperin pinnoitteena antamassa barrier-ominaisuuksia Täyttää vaatimukset 1–7. Estetiikka: PHBV-kalvo läpikuultava, kellertävä	SUP materiaali	Määrä 50 g/m ² (45 µm), tyypillinen pakkaus 2x (25cmx20 cm) → 5 g	30 g PHBV voi lämpömuovata	KYLLÄ kotikompostissa, maaperässä ja meressä / KYLLÄ Ei PHBV:lle omaa kierrätysmenetelmää. Biohajoava	Vetolujuus: 19–40 MPa Venymä: 2–13 % Kimmomoduuli: 1,5–3,5 GPa Tiheys: 1,25 g/cm ³ Käyttölämpötila: -25–65°C (100°C) Läpikuultava, kellertävä Hyvä kosteus ja aromi-barrier, melko hyvä happi-barrier

Raaka-aineina hiilihydraattipitoinen jäte ja CO ₂ mahdollisia.						Rajoitettu saatavuus suuren kysynnän ja pienten valmistusmäärien vuoksi. Useita pieniä valmistajia ja valmistusmäärät kasvussa.
Termoplastinen selluloosa: Cellulose acetate (CA) (Celanese grades Clarifoil® and BlueRidge®, others Dexel, Tenite acetate)	Osa CA-kalvoista biohajoavia Täyttää vaatimukset 1–8 (varmistettava lajikohtaisesti)	SUP materiaali.	Tyypillinen paksuus 14–115 µm (Clarifoil®)		KYLLÄ kotikompostissa/ KYLLÄ Ei olemassa olevaa omaa kierrätysmenetelmää. Teoriassa ok	Vetolujuus: 12–110 MPa Venymä: 15–55 % Kimmomoduuli: 1–4 GPa Tiheys: 1,28–1,3 g/cm ³ Käyttölämpötila: -20–55°C (95°C) Kristallinkirkas, läpinäkyvä Hyvä CO ₂ ja O ₂ barrier, hyvä rasvankesto, melko hyvä kosteudenkesto <i>celanese.com</i> <i>goodfellow.com</i>
Termoplastinen selluloosa: muut laadut (CAB, CAP) Biopohjaisuus noin 40–50 % (Esimerkiksi: Cellidor® B, Tenite Buty-rate; Eastman CAP, Cellidor® CP ja Woodly®)	Graafiset kalvot Lämpömuovattut tuotteet (CAP ja Woodly) Täyttää vaatimukset 1–8 (varmistettava lajikohtaisesti)	SUP materiaali		30 g	Ei / Ei Ei olemassa olevaa omaa kierrätysmenetelmää. Teoriassa ok	Vetolujuus: 20–60 MPa Venymä: 60 % Kimmomoduuli: 0,3–2 GPa Tiheys: 1,23–1,25 g/cm ³ Käyttölämpötila: -40–60°C (100°C) Läpinäkyvä, kirkas Hyvä rasvankesto, melko hyvä kosteudenkesto ja säänkesto.
Regeneroitu selluloosa (e.g. Cellophane™) 100 % biopohjainen	Kalvona sellaisenaan ilman pinnoitetta vain kohtalainen kosteudenkesto. Ei kuumasauautuva Täyttää vaatimukset 1, 3–6 ja 8	Ilman muovipinnoitetta tai kuumasauausominaisuutta ei SUP materiaali	Tyypillinen paksuus 9–50µm. Tiheys: 1,5 g/cm ³	-	KYLLÄ / KYLLÄ Teoriassa kierrätettävä, mutta ei kerätä erikseen. Poltto ok	Vetolujuus: 55–125 MPa Venymä: 18–70 % Kimmomoduuli: 3–5 GPa Tiheys: 1,5 g/cm ³ Käyttölämpötila: pakka- sesta...>150°C Läpinäkyvä, lasinkirkas Hyvä CO ₂ ja O ₂ barrier, hyvä rasvankesto Heikko kosteudenkesto, jota voidaan parantaa pinnoitella. <i>Goodfellow.com</i> <i>natureflex.com</i>
Kiillotettu pergamiinipaperi (Glassine paper) 100 % biopohjainen (Esim. Alhström-Munksjö Lami-bak™, UPM Brilliant™, Golde™, Honey™)	Kosteudenkesto voidaan tuoda esim. Silikonipinnoitteella. Ei kuumasauautuva Täyttää vaatimukset 1, 3–6 Estetiikka: läpikuultava	Ilman muovipinnoitetta ei SUP materiaali	Tyypillinen paino 50–90 g/m ² (50 g/m ² on noin 40 mikronia paksu)	-	KYLLÄ/ KYLLÄ Kierrätys paperinkeräyksen kautta	Ilman, veden ja rasvankestävä. Voidaan silikonipinnoittaa parempien barrier-ominaisuuksien saavuttamiseksi. Läpinäkyvyys 40–50 % Vetolujuus 2,9–8,2 kN/m Käyttölämpötila pakka- sesta.>150°C <i>upm.com</i> https://www.jbmpackaging.com/what-is-glassine/
Muovattava kartonki/kuitu Stora Enso Pure-Fiber™ Tai Södran ja Huhtamäen Fresh-materiaali	Täyttää todennäköisesti vaatimukset 1–6, ei kuumasauautuva, ei läpinäkyvä	Ei SUP			KYLLÄ / KYLLÄ Kierrätys keräyspaperin joukossa	

Paperi tai kartonki, joka dispersiopäällystetty biohajoavalla pinnoitteella ja muovikansi tai muovikansi pakkauksessa (esim. PLA) (Kartonki tyyppiä SE Foodbox tai UPM Asendo Pro)	Täyttää vaatimukset 1–8	Dispersiopäällysteen SUP-linjausta ei vielä ole. Kosteus-suojan suhde SUP-direktiiviin vaatii keskustelua	Dispersiopäällystetty kartonki ja PLA-ikkuna: Paperi 900 cm ² (7 g, 80 g/m ²) ja ikkuna 120 cm ² (0,7 g, 60 g/m ²).	Pinnoitettu kartonki ja PLA-kansi: paino 25 g, kansi 10 g	KYLLÄ (astia) / KYLLÄ Kierrätys kartonkikierrätyksen kautta Pinnoite rejektinä polttoon	Kaupallisesti saatavilla useita barrier-pinnoitettuja tuotteita
Kartonki-pakkaus, jossa kansi/ikkuna regeneroitu selluloosakalvo (Kartonki tyyppiä Kotkamills Aegle Pro tai Isla)	Todennäköisesti vaatii kosteusuojan Ei kuumasaumattava ilman pinnoitetta Täyttää vaatimukset 1, 3–6 ja 8 (reg. Selluloosakalvo)	Dispersiopäällysteen SUP-linjausta ei vielä ole. Kannen liimaus pohjaan valittava ei SUP-materiaalien joukosta.	Regeneroitu selluloosakalvo kanta tai ikkuna	Dispersiopinnoitettu kartonki ja reg. selluloosa kansi. Astia 25 g ja kansi 2 g	KYLLÄ / KYLLÄ Kierrätys kartonkikierrätyksen kautta. Kansi voidaan kompostoida	
Nanoselluloosakalvo kaasubarrier-kalvona	Kaasu-barrier-kalvo läpikuultava, vaatii kosteussulun Täyttää vaatimukset 1 ja 6	Ei SUP-materiaali	Ohut kalvo	-	KYLLÄ / KYLLÄ Kierrätettävissä kuten paperi	Ei kaupallisesti saatavilla
Alumiinivuoka ikkunallisella kartonkikannella	Täyttää vaatimukset 1–8	Ei SUP-materiaali (Alumiinivuoka) Kannen ikkunan status riippuu valinnasta		Alumiinivuoka 20x25cm levystä: 27–60 g Kansi kartonki+ ikkuna: 60 g	EI / EI Kierrätys metallinkierrätyksen kautta Kansi kartonkikierrätys	Kaupallisesti saatavilla elintarvikkepakkaamiseen Tiheys 2.7 g/cm ³ (Al)

Bio-pohjainen PE-kalvo on valmistettu uusiutuvista materiaaleista. Se on suoraan korvaava materiaali öljypohjaiselle LDPE-kalvolle tai BOPP-kalvolle ja sillä on hyvin samankaltaiset suojausominaisuudet. Käyttölämpötilaltaan, mekaaniselta lujuudeltaan ja läpinäkyvyydeltään se jää hieman jälkeen BOPP:stä, mutta pystyy täyttämään todennäköisesti salaattipakkauksessa tarvittavat minimivaatimukset. Bio-PE on kuitenkin SUP-materiaali ja näin ollen todennäköisesti mahdollinen vain siirtymävaiheessa. Lisää tietoja materiaalista löytyy valmistajalta (Braskem)¹⁵. Raaka-aineena käytetään lähinnä ruokosokeria, mutta muut raaka-aineet ovat myös mahdollisia. UPM tuottaa Lappeenrannassa raaka-ainetta bio-PE:n valmistukseen mäntyöljystä, mutta mäntyöljyn saatavuus on rajallinen ja sillä on myös useita vaihtoehtoisia käyttökohteita.

Bio-PET:ä valmistetaan tällä hetkellä kaupallisesti lähinnä 30-prosenttisesti uusiutuvista raaka-aineista eli polyetylenitereftalaatin etyleeni on korvattu uusiutuvista raaka-aineista, lähinnä sokeriru’osta, lähtöisin olevalla etyleenillä. Polymeerin tereftalaatti on vielä toistaiseksi öljypohjainen, vaikka teknologia jo senkin korvaamiseksi uusiutuvalla raaka-aineella on olemassa. Bio-PET on täysin yhteensopiva olemassa olevien PET:n kierrätysmenetelmien kanssa ja logistiikka myös PET-pakkausmateriaalin keräämiseksi Suomessa on olemassa RINKI-kierrätyspisteiden kautta. Se on kuitenkin SUP-materiaali, joten ei sovi tulevaisuudessa käytettäväksi kertakäyttöisissä salaattipakkauksissa. Lämpömuovatus jäykän pakkauksen pakkaussuunnittelulla

¹⁵ <https://www.braskem.com.br/imgreen/bio-based-en>

voidaan ehkä vaikuttaa pakkauksen statukseen esimerkiksi suunnittelemalla pakkaus monikäyttöiseksi, jolloin se ei olisi SUP-direktiivin alainen. Lisää tietoja bio-PET:stä löytyy esimerkiksi Plastic European sivuilta¹⁶ tai Assoziation ökologischer Lebensmittelhersteller e.V.- sivuilta¹⁷.

PLA (polylaktidi) on biohajoavista ja biopohjaisista polymeereistä tällä hetkellä yleisimmin käytössä oleva materiaali. Sen tuotanto kattaa noin 25 % biohajoavien muovien tuotannosta ja noin 14 % kaikkien biomuovien tuotannosta. Tuotantomäärä vuonna 2019 oli 190000 tonnia ja sen odotetaan kaksikertaistuvan 3–4 vuoden välein (European Bioplastics organisation 2019, Naser 2021). Vaikka PLA hajoaa mikrobien toiminnan vaikutuksesta ja luokitellaan biohajoaviin muoveihin, se vaatii teollisen kompostoinnin olosuhteet (mm. lämpötila yli 70°C) hajotakseen, joten se on suhteellisen stabiili polymeeri käyttöolosuhteissa. Perus-PLA:n maksimi käyttölämpötila on melko alhainen (<55°C), mutta modifioituja korkean lämpötilan lajeja voidaan käyttää myös kuumille tuotteille (jopa 120°C¹⁸). PLA:sta valmistettuja lämpömuovattuja jäykkiä vuokia käytetään jo nyt elintarvikkeiden pakkaamiseen (esimerkiksi tomaattipakkauksissa). PLA soveltuu sekä kirkkaisiin läpinäkyviin kalvoratkaisuihin (jotka voidaan liittää lämmön avulla alustaan) että lämpömuovattuihin jäykkiin pakkauksiin. Sitä voidaan käyttää myös paperin pinnoitteena antamaan tarvittava kosteussuoja. PLA on sekä mekaanisesti että kemiallisesti kierrätettävissä oleva materiaali, jota ei Suomessa kuitenkaan tällä hetkellä kerätä erikseen pakkauskierrätyksessä ja valmisteta uusiutuotteeksi. PLA on SUP-materiaali, joten se ei sovellu tulevaisuudessa kertakäyttöisten salaattipakkausten materiaaliksi. PET-muovin tavoin pakkaussuunnittelulla voi vaikuttaa myös PLA- pakkauksen uudelleen käytettävyyteen. Lisää PLA:sta löytyy esimerkiksi valmistajien Total-Corbion¹⁹ ja Natureworks²⁰ sivuilta sekä Naser et. al. 2021 review artikkelista²¹.

PBS, PBSA ja PBAT ovat polybutyleenisukkinaatti, -adipaatti tai -tereftalaatti-pohjaisia biohajoavia polyestereitä. Niistä osaa valmistetaan jo 100-prosenttisesti uusiutuvista raaka-aineista, mutta kustannus-/raaka-aineen saatavuussyistä osa on vielä öljypohjaisia. Rakenteeltaan lineaarisemmat PBS ja PBSA polymeerit on sertifioitu kotikompostissa biohajoaviksi sekä maaperässä biohajoaviksi (https://www.m-chemical.co.jp/en/products/departments/mcc/sustainable/product/1201025_7964.html), sen sijaan tereftaalihappoa sisältävä PBAT hajoaa vain teollisessa kompostissa (https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/ecoflex.html). Kaikkia näitä käytetään erilaisissa kalvosovelluksissa pakkauksista katekalvoihin joko sellaisenaan tai muihin polymeereihin seostettuna ja ominaisuudet sovellusten vaatimusten mukaan räätälöitynä. Näiden polymeerien heikkoutena on alhainen lämmönkesto eli sulaminen alkaa jo > 110°C ja HDT/Vicat arvot noin 90°C. Lisää PBS ja PBSA polymeereistä löytyy joko yllä mainituilta valmistajien sivuilta tai review-artikkelista Rafiqah et al. 2021²². PBAT muistuttaa ominaisuuksiltaan LDPE:ia, mutta on siis teollisessa kompostissa biohajoava. Sen vetolujuus on 32–36 MPa, venymä noin 700 % ja kimmokerroin 20–35 MPa. Tällä hetkellä on kehitteillä myös reittejä valmistaa PBAT kokonaan lähtöisin uusiutuvista raaka-aineista. Lisää

¹⁶ <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family/bio-based-plastics>

¹⁷ <https://biokunststofftool.de/materials/bio-pet/?lang=en>

¹⁸ <http://www.corbion.com/media/77166/corbion-purac-pla-high-heat-themesheet.pdf>

¹⁹ www.total-corbion.com

²⁰ www.natureworkslc.com

²¹ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/ra/d1ra02390j>

²² <https://doi.org/10.3390/polym13091436>

tietoa löytyy esimerkiksi PBAT:ta koskevasta review-artikkelista²³. Yhteensä näiden valmistusvolyymit ovat suurempia kuin PLA:lla ja pääsovellukset joustopakkausissa ja maatalouden kalvoissa (Bioplastics facts and figures 2019²⁴. Nämä ovat SUP-direktiiviin kuuluvia materiaaleja, eikä niille toistaiseksi ole olemassa toimivaa kierrätysmenetelmää. Teoriassa nämä ovat kyllä mekaanisesti ja kemiallisesti kierrätettäviä materiaaleja.

PHBV (polyhydroksybutyraattivaleraatti) kuuluu PHA (polyhydroksyalkanoaatti)-polymeereihin, jotka on valmistettu mikrobiologisin menetelmin fermentoimalla solujen sisällä käyttämällä raaka-aineena erilaisia sokeri- ja rasvalähteitä. Materiaalit on siis valmistettu teollisesti käyttäen hyväksi luonnon omia menetelmiä ja rakennusaineita. PHA:t ovat tyypillisesti veteen liukenevattomia, myrkyttömiä ja kudossyhteensopivia sekä mikrobien toiminnan vaikutuksesta helposti biohajoavia kompostissa, maaperässä ja meressä. Meressä niiden biohajoavuuden toteaminen on kuitenkin perustunut useilla valmistajilla standardiin ASTM D 6691, jossa meriveden lämpötila on +30 °C, mikä tarkoittaa, etteivät ne hajoa kylmissä vesissä standardin mukaisen kuuden kuukauden kuluessa. PHA-polymeereistä löytyy sekä hyvin kiteisiä, koviin ruiskuvalukappaleisiin sopivia lajeja, että amorfisempia, kalvoihin sopivia materiaaleja, kuten PHBV. Naser et al. review-artikkelista (Naser et al. 2021, DOI: 10.1039/d1ra02390j) käy selville, että PHBV-kalvolla on parempi hapenkesto ja kertaluokkaa heikompi vedenkesto kuin LDPE- tai PP-kalvolla, mutta paremmat barrier-ominaisuudet kuin PLA:lla. PHBV:tä on tutkittu myös paperin pinnoituksessa antamalla pakkausmateriaalille veden- ja hapenkestävyyttä ja säilyttämällä sen biohajoavuusominaisuudet. PHBV sulaa lämpötilassa 136–162 °C, mikä tekee siitä melko alhaisessa lämpötilassa prosessoitavan materiaalin. Sen lasisiirtymäpiste on -1°C, mikä tekee siitä amorfisen materiaalin normaalikäyttöolosuhteissa. PHA:n valmistusmäärät ovat vielä toistaiseksi melko pieniä johtuen prosessin haasteista. Valmistajia markkinoilla on kuitenkin useita ja mahdollisuus käyttää muista prosesseista tulevia orgaanisia sivuvirtoja tekee PHA-polymeereistä hyvin mielenkiintoisen myös tulevaisuutta ajatellen. PHBV on SUP-materiaali siitä huolimatta, että se on biohajoava myös luonnossa. Oma olemassa olevaa kierrätysmenetelmää PHBV:lle ei ole. Tekniseltä kannalta se on kierrätettävissä mekaanisesti.

Lämpömuovattavat (termoplastiset) selluloosapohjaiset muovit, kuten selluloosa-asettaatti (CA), selluloosa-asetattibutyraatti (CAB) ja selluloosa-asetattipropionaatti (CAP) ovat esimerkkejä tyypillisistä kaupallisista selluloosaestereistä, joista voidaan valmistaa lämpömuovattavaa kalvoa PET-kalvon korvaajaksi. Sellaisenaan nämäkin ovat hyvin jäykkiä, joten lämpömuovattavuuden parantamiseksi ne sisältävät tyypillisesti 10–30 % pehmitinaineita, jotka nykyisissä tuotteissa ovat pääosin ftalaattivapaita estereitä. Selluloosapohjaiset muovit ovat vanhimpia teollisia muoveja ja ovat olleet käytössä jo noin 100 sadan vuoden ajan eli reilusti ennen öljypohjaisia valtamuoveja. Raaka-aineina selluloosaestereissä käytetään pääasiassa puuvillaa, puuta tai hampua. Ne ovat tyypillisesti läpinäkyviä, naarmutuksen kestäviä, antistaattisia, UV-kestäviä ja niillä on hyvät touch-feel-ominaisuudet. Valmistajia ovat Celanese, Eastman, Albis Plastics, Daicel ja Rotuba. CAB ja CAP ovat tyypillisesti hyvin kestäviä ja biohajoamattomia materiaaleja, mutta CA-materiaaleista löytyy myös biohajoavia lajeja kuten jotkut Celanesen BlueRidge™ laadut²⁵ ja Daicelin CAFBLO™²⁶. Yksittäisen lajin biohajoavuuden toteaminen on

²³ <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.001>

²⁴ <https://www.european-bioplastics.org/>

²⁵ <https://www.celanese.com/engineered-materials/products/blueridge>

²⁶ https://www.daicel.com/cell_ac/en/cellulose/marine_biodegradable.html

monesti hankalaa, koska lopputulos vaihtelee lajin mukaan, eivätkä valmistajat useinkaan raportoi kaikkien kaupallisten lajien koostumusta ja biohajoavuutta. Lisäksi on huomattava, että monien muiden biomuovien valmistajien tapaan esimerkiksi Daicel käyttää TÜV Austrian MA-RINE biohajoavuus -standardia, jossa meriveden lämpötila on varsin korkea, +30 C (6 kk, vähintään 90 % hajoaa). Kuten muutkin muovit, myös selluloosapohjaiset muovit ovat SUP-materiaaleja, joten ne eivät ole ensisijaisia PET:n korvaajia. Niitä ei myöskään tällä hetkellä kerätä erikseen kierrätykseen uusiomateriaaliksi. Näille polymeereille on kyllä jo olemassa sopivia kierrätysmenetelmiä mm. Eastmanin ja Celanesen kehitystyön tuloksena²⁷, Celanese patent US20100175691A1) tai muita kaupallisia toimijoita, kuten Power Plastic Recycling²⁸. Puhdas materiaali on myös mekaanisesti kierrätettävissä.

Muovattavat kuitumateriaalit kuten Stora Enson PureFiber™ on Formed fiber-teknologialla valmistettu muotoon puristettu kuitutuote, joka ei valmistajan mukaan sisällä muovia, voidaan kierrättää keräyspaperin joukossa ja on hyväksytty elintarvikekontaktimateriaaliksi. Se sopii käytettäväksi mukeissa, kulhoissa, kahvikupin kansissa ja muissa kertakäyttöisissä ruokapakauksissa. Tässä tarkasteltavassa käyttökohteessa se voi korvata PET-vuoan, joskaan tuotteen barrier-ominaisuudet eivät ilmeisesti kestä pitkäaikaista neste- tai rasvakontaktia²⁹.

Muovattava kuitumateriaali löytyy myös Södralta, joka yhteistyössä Huhtamäen kanssa on EU-Fresh-projektissa kehittänyt täysin biopohjaisen ja biohajoavan tuotteen korvaamaan PET-vuokia. Tuote on ollut markkinoilla kesästä 2019³⁰. Fresh-vuoan sisäpinta on päällystetty biolaminaatilla, jonka koostumusta ja raaka-aineita yhtiö ei ilmoita. (<https://www.huhtamaki.com/en/fresh/huhtamaki-fresh-faq/>).

Regeneroitu selluloosa on muovin kaltainen läpinäkyvä materiaali, joka on valmistettu liuottamalla selluloosakuitu ja regeneroimalla se liuoksesta kuiduksi tai kalvoksi. Prosessoitavuuden kannalta se saattaa sisältää myös joitain prosentteja pehmittimiä ja muita lisäaineita. Viskoosi-prosessi on yksi tapa valmistaa regeneroitua selluloosaa. Muita prosesseja ovat Lyocell-prosessi, karbamaatti-prosessi, loncell-prosessi ja Biocelsol-prosessi. Cellophane™ on Futamuran kauppanimi kyseiselle kalvolle. (McKeen L.W. (2017) Environmentally Friendly Polymers; Permeability Properties of Plastics and Elastomers (4th Ed.) <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-50859-9.00013-0>) Cellophane™ on sellaisenaan biohajoava lasinkirkas, luja (moduli 5200MPa) ja lämmönkestävä kalvo sekä luontaisesti antistaattinen. Sillä on hyvä hapen ja rasvankesto, mutta keskinkertainen vedenkesto, eikä se ole lämpömuovattavissa. Vedenkesto ja lämpömuovausominaisuuksia voidaan kalvoon tuoda pinnoittamalla se esimerkiksi nitroselluloosalla tai PVDF:lla. Futamura valmistaa regeneroitua puupohjaista selluloosakalvoa myös nimellä NatureFlex™, joka on uudempi, väitetyksi ympäristöystävällisempi versio Cellophan™:sta, valmistajan omien LCA laskelmien mukaan 43 % alhaisemmilla CO₂-päästöillä jo vuonna 2014³¹. Sillä

²⁷ <https://www.icis.com/subscriber/icb/2019/04/04/10344102/eastman-develops-plastic-waste-recycling-technology/#> =

²⁸ <https://powerplasticrecycling.com/cellulosic-plastics/>

²⁹ <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/formed-fiber>

³⁰ <https://www.huhtamaki.com/en/project-fresh/>

³¹ <http://www.futamuragroup.com/jp/sustainability/carbon-footprint/>

on hyvät lämmönkesto ja barrier-ominaisuudet kuten Cellophan™:illa ja saatavilla myös pinnoitettuja, kuumasaumattavia lajeja. Materiaali on sertifioitu kompostoituvaksi kotikompostissa ja maaperässä sekä biohajoavaksi meressä. Sillä on myös ruokakontaktihyväksyntä.

Glassiinipaperi on kalanteroimalla kiillotettua läpinäkyvää tai läpikuultavaa (läpinäkyvyys noin 50 %), ohutta, sileää ja lujaa paperia, joka on myös rasvan, ilman ja vedenkestävää, ei kuitenkaan täysin veden- tai rasvankestävää. Sitä käytetään etiketteihin, tarroihin irrokepaperina, elintarvikepakkauksissa leivonnaisten pakkaamiseen ja taideteosten suojaamiseen. Ilman pinnoitetta se on lähes 100 % selluloosapohjainen materiaali ja siten täysin biohajoava sekä kierrätettävissä paperinkierrätyksen mukana.³²(Kjellgren 2005 Licentiate thesis³³)

Samankaltainen paperi silikonilla pinnoitettuna on leivinpaperi (parchment paper), jonka rasvan-, veden- ja lämmönkesto on parannettu pinnoitteella. Kolmas samankaltainen paperi on vahapaperi tai voipaperi, jossa kiillotettu paperi on pinnoitettu elintarvikehyväksytyllä vahalla (fossiilisista raaka-aineista valmistettu parafiini tai soijaöljypohjainen vaha) antamaan lähinnä rasvan ja kosteudenkesto, mutta ei samantyyppistä lämmönkesto kuin leivinpaperilla. Voipaperi ja leivinpaperi voidaan käyttää uudelleen, mutta pinnoitteensa vuoksi kumpikaan ei sovellu paperinkierrätykseen. Luonnonvahapinnoitteinen voipaperi voidaan kompostoida, sen sijaan silikonipinnoitteinen leivinpaperi yleensä ei. (Deshwal et.al. 2019, Hubbe, M. A., and Pruszynski, P. (2020).) Tosin Suomessa esimerkiksi Fredman (ent. Eskimo) ja Metsä ilmoittavat, että heidän valmistamansa leivinpaperit voidaan kompostoida; ainakin jälkimmäisen brändituotteella (Saga) on myös kompostoituvuusertifikaatti (TÜV Austria, Industrial ja Home). Leivinpaperin lajitteluohjeet kuitenkin vaihtelevat Suomessa paikkakunnittain: osa kunnista ohjaa leivinpaperit biojätteisiin, toiset kunnat puolestaan ohjeistavat lajittelemaan ne sekajätteeseen.

Pinnoitteina käytetyistä luonnonvahoista yleisin on karnaubavaha, jonka raaka-aine on karnaubapalmun (*Copernicia prunifera*) lehdet. Kyseinen viuhkalehtinen palmu kasvaa Brasilian koillisosissa. Karnaubavahan vuotuinen tuotanto on noin 20 000 tonnia (vuonna 2012) (De Freitas ym. 2019), joten kovin laaja-alaista sen käyttö pakkausten ja papereiden pinnoitteina ei voi olla. Lisäksi karnaubavahaa käytetään jo nykyään moniin eri tarkoituksiin muun muassa elintarvike- ja kosmetiikkateollisuudessa, esimerkiksi makeisissa ja huulipunissa, sekä muissa teollisissa sovelluksissa, mm. autovahoissa.

8.1.3. Elintarvikepakkauksiin liittyviä tuoteturvallisuusnäkökohtia: esimerkkinä PFAS-yhdisteet

Elintarvikepakkauksiin liittyy myös tärkeitä tuoteturvallisuusnäkökohtia. Viime aikoina on erityisesti noussut esiin kysymys elintarvikekontaktimateriaalien sisältämistä per- ja polyfluoroalkyyliyhdisteistä (PFAS), koska monilla näistä kemikaaleista on todettu olevan erittäin haitallisia vaikutuksia ihmisille ja ympäristölle (esim. Bokkers ym. 2017, Schrenk ym. 2020).

PFAS-yhdisteitä on käytetty – ja käytetään edelleen – hyvin yleisesti sekä kuluttajatuotteissa että teollisuudessa: elintarvikepakkauksissa, keittiövälineissä, astioissa, vettä ja likaa hylkivissä tekstiileissä, vahoissa, maaleissa lääkkeissä, kosmetiikassa, palonsammutusvaahdoissa ja elektroniikassa. Niitä käytetään myös torjunta-aineissa sekä öljy- ja kaivosteollisuudessa. PFAS-yhdisteitä käytetään myös paperin ja kartongin lisäaineina, joiden tehtävä on luoda rasvaa ja vettä

³² <https://www.ecoenclose.com/blog/what-is-glassine/>

³³ <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:5289/FULLTEXT01.pdf> Division

kestävä kalvo (barrier) pakkausratkaisulle, ts. ne jäävät lopputuotteeseen ja voivat olla suorassa elintarvikekontaktissa. PFAS-yhdisteet voidaan lisätä selluun sen valmistusprosessin aikana (internal sizing) tai paperin tai kartongin pintaan päällysteaineina (external sizing). (Trier ym. 2011, 2017, Bokkers ym. 2018).

Elintarvikepakkausten osalta erityisen suurta huolta ovat aiheuttaneet PFAS-yhdisteet kierrätyskartongissa, jota valmistetaan runsaasti muun muassa Keski-Euroopassa. Sitä myös tuodaan Eurooppaan paljon tuotepakkauksina muun muassa Kiinasta, minkä seurauksena paperi-, kartonki- ja muut kuitupakkauksissa käytetyt materiaalit ja lisäaineet päätyvät kiertoon Euroopassa.

Elintarvikekontaktimateriaalien turvallisuutta sekä materiaaleissa käytettäviä yhdisteitä, mukaan lukien PFAS-yhdisteet, säädellään Euroopassa sekä kemikaalilainsäädännön että elintarvikelainsäädännön kautta. Unionin tasolla viranomaisena toimivat Euroopan kemikaalivirasto (ECHA) sekä Euroopan ruokaturvallisuusvirasto (EFSA). Jäsenvaltioilla voi olla kansallista sääntelyä niillä osa-alueilla, joissa harmonisoitua sääntelyä ei vielä ole.^{34,35} Lisäksi Euroopan neuvosto on antanut ohjeita PFAS-yhdisteiden käytöstä elintarvikekontaktimateriaaleissa.³⁶ Vaikka monet jäsenmaat pyrkivät neuvoston ohjeita noudattamaan, ne eivät ole oikeudellisesti velvoittavia.

Muutamien PFAS-yhdisteiden (PFOS ja sen johdannaiset) käyttöä on rajoitettu kansainvälisen Tukholman sopimuksen mukaisesti jo vuodesta 2009. Rajoituksia on sen jälkeen joiltakin osin tiukennettu sekä EU:ssa että Yhdysvalloissa, molemmissa viimeksi vuonna 2020, mutta nyt niitä ollaan uuden tutkimustiedon perusteella edelleen tiukentamassa ja laajentamassa. Osaltaan tähän on kannustanut EU-komission vuonna 2020 julkistama kemikaalistrategia ja siihen liittyvä laaja toimenpideohjelma sekä Yhdysvalloissa myös presidentti Bidenin hallinto ja sen linjaukset.^{37,38} EU:n kemikaalistrategian mukaan *”komissio aikoo kieltää ryhmänä kaikki PFAS-yhdisteet palonsammutusvaahdoissa ja muissa käyttötarkoituksissa ja sallia niiden käytön vain silloin, kun ne ovat yhteiskunnan kannalta välttämättömiä”*. PFAS-yhdisteet pyritään kieltämään nimenomaan ryhmänä, koska yhdisteitä on erittäin paljon ja tutkimustiedon mukaan haitalliset vaikutukset näyttäisivät lähtökohtaisesti koskevan hyvin laajaa joukkoa näitä yhdisteitä.

Ainakin Euroopan Unionissa ja joissakin Yhdysvaltain osavaltioissa uudet rajoitukset tullevat koskemaan myös PFAS-yhdisteiden käyttöä kaikissa elintarvikekontaktimateriaaleissa lukuun ottamatta *”välttämättömäksi”* katsottua käyttöä. Tällä hetkellä muovilla ja toisaalta paperi- ja

³⁴ <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/valmistus/pakkaukset-ja-muut-elintarvikekontaktimateriaalit/kontaktimateriaaleja-kokeva-lainsaadanto/>

³⁵ <https://mmm.fi/documents/1410837/1875432/Lains%C3%A4%C3%A4d%C3%A4nt%C3%B6+2021+kontaktimateriaalit+MMM.pdf/cfab79a-609a-04f3-d436-9a3d0baf4c25/Lains%C3%A4%C3%A4d%C3%A4nt%C3%B6+2021+kontaktimateriaalit+MMM.pdf?t=1609843977905>

³⁶ <https://www.edqm.eu/en/news/edqm-releases-guidance-paper-and-board-materials-and-articles-food-contact>

³⁷ https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:f815479a-0f01-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF

³⁸ <https://www.epa.gov/pfas/epa-actions-address-pfas>

kartonkituotteilla on tässä suhteessa erilaiset säännöt Unionin sisämarkkinoilla: elintarvikekontaktissa olevien muovien (ml. muovikalvojen) osalta PFAS-yhdisteiden käyttöä säännellään EU:ssa niin sanotun positiivilistan avulla yhtenäisesti ja varsin tarkasti, mutta paperi- ja kartonkituotteilla ole vastaavaa yhtenäistä sääntelyä. Niitä koskevat Unionin tasolla vain yleiset kontaktimateriaalien turvallisuutta koskevat asetukset (mm. ns. kehysasetus (EY) 1935/2004 ja GMP-asetus (EY) 2023/2006).³⁹

Elintarvikekontaktissa olevien paperi- ja kartonkipakkausten osalta jäsenvaltioissa noudatetaan keskenään hyvinkin erilaisia määräyksiä (Bokkers ym. 2018). Koska EU-tason PFAS-sääntely ei tällä hetkellä koske elintarvikekontaktissa olevia papereita ja kartonkeja (em. yleis- ja erityisvaatimuksia lukuun ottamatta) ja tutkimustieto PFAS-yhdisteiden haitallisista vaikutuksista on koko ajan lisääntynyt, Tanska kielsi 1.7.2020 lähtien kaikki PFAS-yhdisteet näissä tapauksissa. Kielto on voimassa, jos elintarvikepapereissa ja -kartongeissa ei käytetä sellaista barrier-kerrosta, joka estää PFAS-yhdisteiden siirtymisen paperista ja kartongista elintarvikkeeseen.⁴⁰ Määräys koskee myös regeneroidusta selluloosasta valmistettuja materiaaleja.

Suomessa elintarvikeviranomaiset eivät kerää tietoa, missä määrin Suomen markkinoilla olevissa elintarvikepakkauksissa ja niiden kontaktimateriaaleissa on käytetty PFAS-yhdisteitä.⁴¹ Saadakseen tietoa PFAS-yhdisteiden käytöstä ja käyttökohteista Ruotsin kemikaalivirasto (Kemikalieninspektionen) määräsi yritykset 1.1.2019 lähtien raportoimaan viraston rekisteriin sellaisista tuotteista, joihin on *tarkoituksellisesti* lisätty PFAS-yhdisteitä (Goldenman ym. 2019). Velvoite tuli käytännössä voimaan helmikuussa 2020.⁴² "Tarkoituksellisesti" on kirjattu määräykseen sen vuoksi, että esimerkiksi monissa paperi- ja kartonkituotteissa – erityisesti keräyskuiduista valmistetuissa – on yleensä jonkin verran PFAS-yhdisteitä.⁴³

Alankomaat ja Saksa ovat vastikään esittäneet ECHA:lle, että PFAS-yhdisteiden käyttörajoituksia tulisi laajentaa ja tiukentaa huomattavasti myös kemikaaliasetuksen määräyksillä. Ruotsi, Tanska ja Norja ovat tukeneet aloitetta. ECHA kerää parhaillaan tietoa päätöksensä tueksi⁴⁴, mitä myös EU:n vuonna 2020 hyväksytyn kemikaalistrategian toteutus edellyttää.

Sopeutuakseen tiukentuvaan sääntelyyn monet pakkaus- ja kemianalan yritykset ovat viime vuosina pyrkineet kehittämään ja ottamaan käyttöön vaihtoehtoja PFAS-yhdisteitä sisältäville ratkaisuille paperi- ja kartonkituotteiden ei-muovisissa elintarvikekontaktipinnoissa. Esimerkiksi Kemira Oyj on ilmoittanut, että osin edellä mainituista syistä se kehittää biopolymeereistä

³⁹ Bokkers ym. 2018; Merja Virtanen, ylitarkastaja, Ruokavirasto, suull. 16.11.2021, Elina Pahkala, johtava asiantuntija, maa- ja metsätalousministeriö, suull. 16.11.2021

⁴⁰ <https://www.sgs.com/en/news/2020/05/safeguards-07320-denmark-bans-pfas-chemicals-in-food-contact-paper-and-board>

⁴¹ Merja Virtanen, ylitarkastaja, Ruokavirasto, suull. 16.11.2021

⁴² <https://www.kemi.se/archives/news-archive/news/2018-11-05-the-swedish-chemicals-agency-is-introducing-a-requirement-to-report-pfass-to-the-products-register>

⁴³ Esimerkiksi Huhtamäen kierrätyspaperista valmistettuja ruokakulhoja markkinoidaan Yhdysvalloissa kertoen, että niihin ei ole valmistusprosessissa *tarkoituksellisesti* lisätty PFAS-yhdisteitä ("with no intentionally added PFAS chemicals used in the manufacturing process"). <https://www.kenerson.com/l/huhtamaki-brio-bowls/>

⁴⁴ <https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>

valmistettuja biohajoavia pinnoitteita paperi- ja kartonkipakkauksille.⁴⁵ Vuoden 2020 lopussa se teki tätä koskevan yhteistyösopimuksen yhdysvaltalaisen Danimer Scientific -yhtiön kanssa. Kyseessä on Danimerin valmistama PHA-biomuovipinnoite, joka Kemiran ilmoituksen mukaan valmistetaan rapsin tai soijan siemenistä saatavista kasviöljyistä ja jota tullaan käyttämään esimerkiksi pahvimukien dispersiopinnoitteena.⁴⁶

Glennin ym. (2021) mukaan PFAS-yhdisteille ei ole vielä löydetty teknisesti toimivia, edullisia, kompostoituvia ja ympäristöystävällisiä korvaajia elintarvikekontaktipapereissa ja -kartongeissa. PLA on kohtalaisen edullinen ratkaisu laminoinnissa, mutta sen rajoitteet liittyvät joihinkin teknisiin ominaisuuksiin ja kompostoitavuuteen sekä raaka-aineiden (erityisesti maissin) tuotannon kestävyteen. PLA-pohjaisia ratkaisuja on kuitenkin hyvin monenlaisia. Useat tärkeys- ja selluloosapohjaiset ratkaisut ovat lupaavia, mutta niidenkin teknisiä ominaisuuksia ja kustannuskilpailukykyä johdutaan vielä kehittämään. Kasviproteiinipohjaisista ratkaisuista soija on tällä hetkellä kaupallisesti tärkein, mutta soijankin käyttöön voi liittyä merkittäviä ympäristöhaittoja ennen muuta epäsuorien maankäyttövaikutusten ja intensiivisten viljelykäytäntöjen takia. Myös jotkut painopapereissa käytetyt kemikaalit ja lisäaineet antavat mahdollisuuksia uudentyypisille ratkaisuille, mutta niidenkin osalta tarvitaan vielä tutkimus- ja kehitystyötä. OECD:n (2020) raportin mukaan PFAS-yhdisteitä korvaavien ratkaisujen suurin este on loppu-tuotteen korkeampi hinta.

8.1.4. LCA-tulokset: salaattipakkaukset

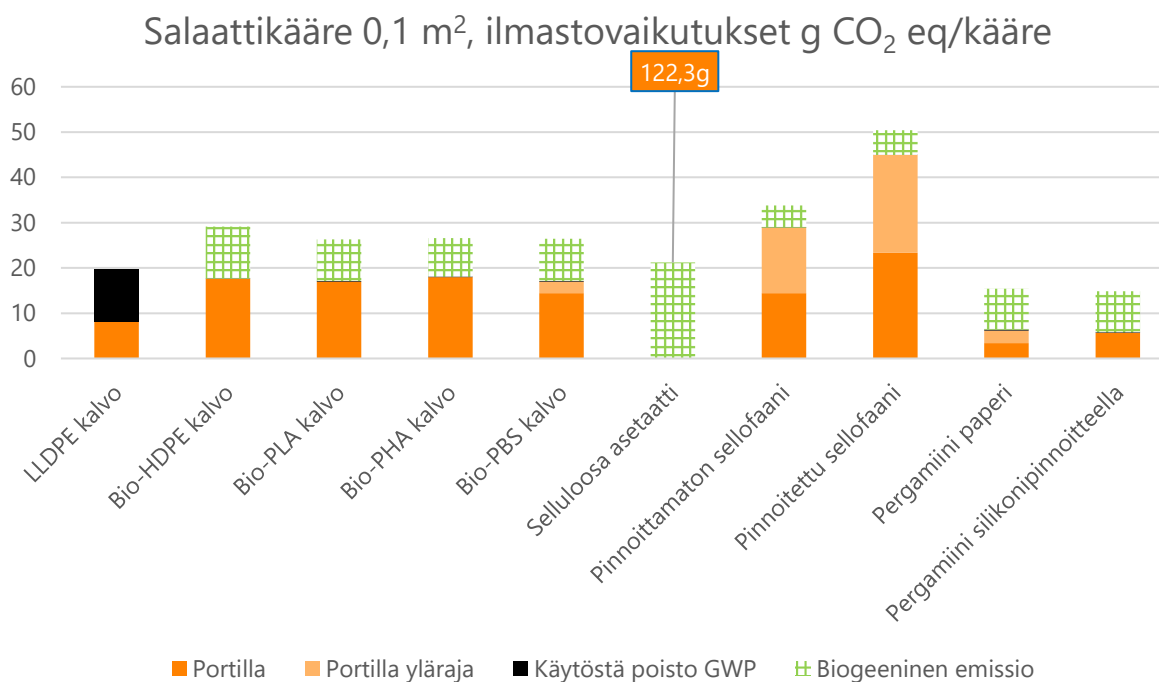
Salaattipakkausten ilmastovaikutuksia on esitetty kuvissa 2-5. Oletuksena on, että salaatti kuljetetaan kotiin kääreessä tai pussissa, jonka pinta-ala on kaikissa vaihtoehdoissa 0,1 m². Salaattikääreiden valmistuksen ("portilla" = päästöt siihen mennessä, kun tuote lähtee tehtaan portilta) ja käytöstä poiston ilmastovaikutukset esitetään Kuvassa 2. Joissain tapauksissa valmistuksen päästöjen vaihteluväli on sisällytetty tarkasteluun ("portilla, yläraja"). Tähän vaihteluun vaikuttavat mm. erilaiset ratkaisut materiaalien määrissä.

Kuvan 2 ei ole sisällytetty energian talteenoton ja kierrätyksen ilmastohyötyjä, joita tarkastellaan erikseen alempana. Biomuovien selvästi korkeampi valmistuksen ilmastovaikutus näkyy kääreen korkeampana GWP arvona, jos käytöstä poistoa ei oteta huomioon. Vaihtoehdoista vain pergamiinikääreiden valmistuksen ilmastovaikutus on alempi kuin PE kalvolla. Koska PE muovista valtaosa poltetaan, poltosta vapautuvat fossiilisen CO₂:n päästöt lisäävät merkittävästi ilmastovaikutusta, ja näin kokonaisvaikutus muodostuu suuremmaksi, kuin valtaosalla korvaavista biopohjaisista ratkaisuista (poikkeuksena pinnoitettu sellofaani), joilla polton päästöt ei lasketa mukaan ilmastovaikutukseen. Lisäksi monet biopohjaiset muovit voidaan kompostoida tai mädättää, Kompostoinnissa vapautuu myös hiilidioksidia, mutta biopohjaisilla tuotteilla myöskään tätä ei lasketa mukaan kokonaisilmastovaikutukseen. Mädätyksessä vapautunut metaani voidaan hyödyntää energiantuotannossa, mutta tätä vaihtoehtoa ei tarkasteltu tässä raportissa. Kuvan 2 tuloksista on myös syytä huomata, että tarkastelussa mukana oleva täysin päällystämätön sellofaaniratkaisu ei ole toiminnallisesti samanlainen muiden esitettyjen ratkaisujen kanssa, sillä se ei sovellu tuotteen säilytykseen, vaan ainoastaan kotiinkuljetukseen. Tästä syystä tätä ratkaisua ei voi suoraan verrata muihin ratkaisuihin tässä tarkaste-

⁴⁵ www.kemira.com

⁴⁶ <https://www.kemira.com/company/media/newsroom/releases/kemira-announces-exclusive-partnership-with-danimer-scientific-to-develop-biodegradable-coating-for-paper-and-board-industry/>

lussa. Selluloosa-asetaiin ilmastovaikutuksen laskenta perustuu patenttien perusteella laskettuun "kovaan" selluloosa-asetaiiin, eikä välttämättä edusta sellaisenaan pakkaukseen käytettävän asetaiin päästöjä. Tarvittavan energian ja eri raaka-aineiden ilmastovaikutuksen perusteella myös "kalvomaisen" lopputuotteen ilmastovaikutusten mittaluokka on merkittävästi suurempi kuin verrokkien.

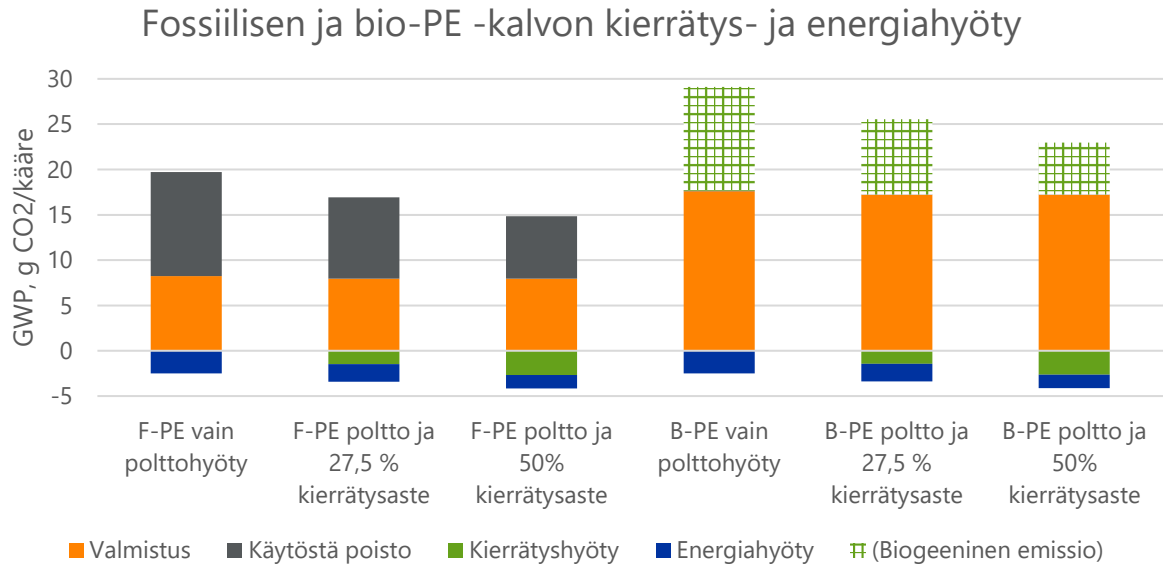


Kuva 2. Raportissa tarkastelujen salaattikääreiden ilmastovaikutukset, g CO₂e/0,1 m² kääre. Selluloosa-asetaiin arvio on suuntaa antava.

Tuotteen käytöstä poistamisella, eli ohjaamisella joko kierrätykseen tai polttoon, on suuri merkitys ilmastovaikutuksiin. Kuvassa 3 tarkastellaan fossiilisten ja biopohjaisten salaattikääreiden ilmastovaikutuksia tilanteissa, joissa 1) kaikki materiaali menee polttoon, 2) kerättävän materiaalin osuus on 27,5 % ja 3) kerättävän materiaalin osuus on 50 %. On syytä huomata, että näihin kerättävän materiaalien määriin sisältyy myös keräyksen jälkeen kierrätyksestä hylätty, polttoon ohjautuva osuus (20 %), joten todelliset kierrätysasteet tässä tarkastelussa ovat ilmoitettuja prosenttimääriä pienempiä. Tuloksista nähdään, että jo pelkästään energian talteenotossa poltossa voidaan ilmastovaikutuksia pienentää (korvaamalla fossiilisia polttoaineita energian tuotannossa), mutta tämä pieneminen on vain murto-osa poltossa vapautuneiden fossiilisten CO₂-päästöjen ilmastovaikutuksesta. Kierrätykseen ohjaamisella on merkittävästi suurempi ilmastohyöty kuin poltossa vapautuneen energian hyödyntämisellä. Tämä on seurausta kahdesta tekijästä: 1) poltettavan materiaalin osuus on pienempi, jolloin polton fossiiliset CO₂-päästöt vähenevät, ja 2) kierrätysmateriaali korvaa korkeapäästöistä neitseellistä materiaalia tuotannossa.

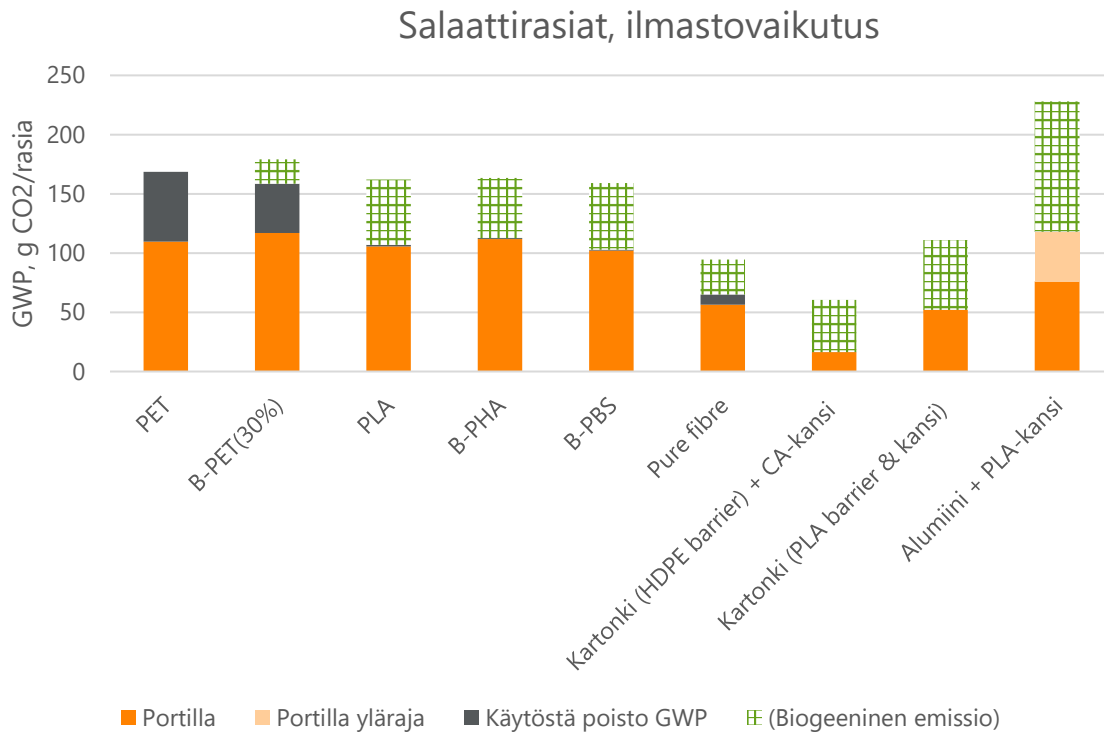
Kuvasta 3 nähdään myös, että kierrätyksen ilmastohyödyt toteutuvat myös biopohjaisella materiaalilla, koska myös tässä tapauksessa kierrätysmateriaali korvaa neitseellistä materiaalia. Sen sijaan polton fossiilisiin päästöihin ei biopohjaisella materiaalilla ole vaikutusta, koska biopohjaisen CO₂:n päästöjä ei lasketa mukaan kokonaisilmastovaikutuksiin. Toisaalta Kuvasta 3 näh-

dään, että myös biogeeniset CO₂-päästöt vähenevät kierrätysasteen kasvaessa. Tämä väheneminen voidaan tulkita siten, että osa lyhytkiertoisesta biogeenisestä hiilestä siirtyy pitkäaikaisempaan varastoon, silloin, kun se kiertää tuotteissa, eli tällöin kierrätettävä tuote sitoo hiiltä ilmakehästä hiilivarastoihin. Tämän prosessin ilmastohyöty on siten vastaava, kuin fossiilisen hiilen päästöjen väheneminen kierrätyksen lisääntyessä.



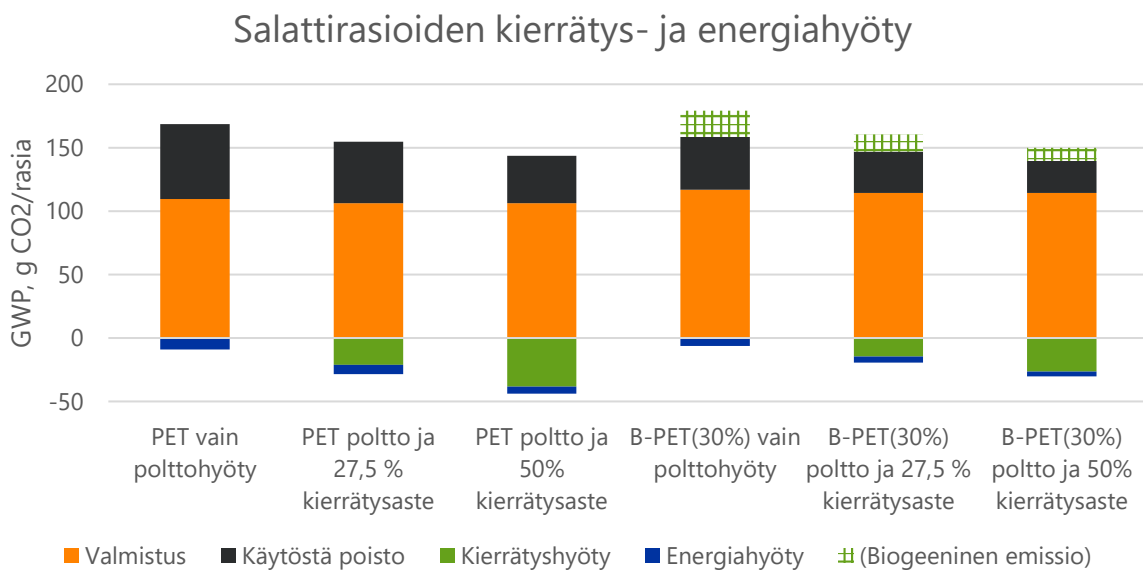
Kuva 3. Kierrätyksen ja energian talteenoton ilmastohyötyjen vaikutus salaattikäereiden kokonaisilmastovaikutukseen

Salaattirasioiden valmistuksen ja käytöstä poiston ilmastovaikutukset esitetään Kuvassa 4. Tähän kuvaan ei ole sisällytetty energian talteenoton ja kierrätyksen ilmastohyötyjä, joita tarkastellaan erikseen Kuvassa 4. Tuloksista nähdään, että fossiilisesta materiaalista valmistetun rasian ilmastovaikutus on suurempi kuin biopohjaisten vaihtoehtojen. Tässäkin tapauksessa käytöstä poistamisella ja poltossa vapautuvilla fossiililla CO₂-päästöillä on suuri vaikutus.



Kuva 4. Raportissa tarkastelujen salaattirasioiden ilmastovaikutukset, g CO₂e / rasia

Kuvassa 5 tarkastellaan fossiilisten ja biopohjaisten salaattirasioiden ilmastovaikutuksia kuten edellä tilanteissa, joissa 1) kaikki materiaali menee polttoon, 2), kierrätystä varten kerättävän materiaalin osuus on 27,5 % ja 3) kierrätystä varten kerättävän materiaalin osuus on 50 %. Myös tässä tapauksessa nähdään, että kierrätykseen ohjaamisella on suurempi ilmastohyöty, kuin poltossa vapautuneen energian hyödyntämisellä, koska polton fossiiliset CO₂-päästöt vähenevät, ja kierrätysmateriaali korvaa korkeapäästöistä neitseellistä materiaalia.



Kuva 5. Kierrätyksen ja energian talteenoton ilmastohyötyjen vaikutus salaattirasioiden kokonaisilmastovaikutukseen

8.1.5. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien salaattipakkausten ominaisuuksista

Yhteenvetona kertakäyttöisten salaattipakkausten korvaavista materiaaleista voidaan todeta, että pakkauksen ollessa kertakäyttöinen sen materiaalit kuuluvat yleensä SUP-direktiivin alaisiin materiaaleihin. Poikkeuksia ovat sellaiset paperi-, kartonki- ja metallipohjaiset ratkaisut, joita ei ole pinnoitettu muovilla. Esimerkkinä mahdollisista ratkaisuista on muovattava kuitukartonki, kuten Stora Enson PureFiber™. Läpinäkyvä kansi voi olla tuolloin valmistettu regeneroidusta selluloosasta, tarvittaessa täysin läpinäkyvää materiaalia. Osittainen läpinäkyvyys saadaan esimerkiksi pergamiinipaperilla. Nämä eivät kuitenkaan sovellu pitkän, vuorokausien, säilytysajan vaativiin pakkauksiin niiden puutteellisen kosteus- ja kaasusuojauksen vuoksi. Metallipakkauksissa haasteina ovat puolestaan paino ja mahdolliset ympäristövaikutukset.

Jos pakkaus voidaan suunnitella uudelleenkäytettäväksi, voidaan korvaaviin materiaaleihin sisällyttää myös muita taulukossa esiteltyjä uusiutuvista raaka-aineista lähtöisin olevia materiaaleja, kuten biomuoveja sellaisenaan tai biomuovipinnoitteita antamaan tarvittavat suojausominaisuudet. Tällöin prioriteetti on materiaaleilla, joille on jo olemassa oleva kierrätyslogistiikka ja uudelleenkäyttö, kuten niin sanotut drop-in biomuovit bio-PE ja bio-PET, lähiaikoina tulevaisuudessa myös bio-PP tai PLA. Uudelleen käytettävän pakkauksen päätyessä polttoon kasvihuonekaasupäästöjen kannalta suositeltava vaihtoehto on tällöin uusiutuvista raaka-aineista lähtöisin oleva muovi, joka täyttää pakkauksen sovelluskohtaiset vaatimukset.

Korvaavien biopohjaisten salaattipakkausten ilmastovaikutukset eivät aina ole materiaalin valmistuksen osalta pienempiä, kuin vastaavien fossiilisten tuotteiden, ja ratkaisujen erot tulevatkin yleensä esille käytöstä poiston yhteydessä. Koska fossiilisista muoveista valtaosa poltetaan, poltosta vapautuvat fossiilisen CO₂:n päästöt lisäävät merkittävästi ilmastovaikutusta, ja näin kokonaisvaikutus muodostuu suuremmaksi, kuin valtaosalla korvaavista biopohjaisista ratkaisuista, joilla polton päästöjä ei lasketa mukaan ilmastovaikutukseen. Tuloksista myös yleisesti havaitaan, että kierrätykseen ohjaamisella on suurempi ilmastohyöty, kuin poltossa vapautuneen energian hyödyntämisellä, koska polton fossiiliset CO₂-päästöt vähenevät, ja kierrätysmateriaali korvaa korkeapäästöistä neitseellistä materiaalia.

Eri ruokapakkausmateriaalien kierrätykseen liittyvistä haasteista käytiin hanketta varten keskustelua Suomen Uusiomuovin edustajan kanssa, sekä myös yleisellä tasolla yritysten edustajien kanssa vuoden 2021 PackSummit tapahtumassa. Yleinen ongelma pakkausten kierrätyksessä on komposiittipakkausten vaikea kierrätettävyys, sekä perinteisissä, että vaihtoehtoisissa ratkaisuissa. Eri materiaalien erottaminen toisistaan saattaa olla hankalaa käytännössä, vaikka onnistuisikin laboratorio-olosuhteissa. Tämän seurauksena suuri osa komposiittipakkausten materiaaleista päätyy polttoon, mikä heikentää kierrätystulosta ja vaikeuttaa kierrätystavoitteisiin pääsyä. Tällä on myös merkittäviä vaikutuksia pakkausten ympäristökestävyyteen, koska materiaalien ohjaaminen polttoon lisää kasvihuonekaasupäästöjä huomattavasti kierrätykseen verrattuna. Tätä on demonstroitu tämän hankkeen LCA-tulosten yhteydessä (esim. kappale 8.1.4). Toisaalta yritysten edustajat viestittivät, että nykyisin on markkinoille tulossa entistä enemmän monomateriaalista valmistettuja ruokapakkausratkaisuja, jotka osaltaan auttavat ratkaisemaan kierrätyksen ongelmia.

Korvaavien ja korvattavien salaattipakkausten tärkeimmät vertailtavat ominaisuudet on esitetty Taulukossa 4. Korvaavia ratkaisuja on verrattu korvattaviin, ja vertailussa on käytetty seuraavaa asteikkoa: 0 = sama kuin korvattava, + = parempi kuin korvattava, ++ = huomattavasti parempi kuin korvattava, - = huonompi kuin korvattava, -- = huomattavasti huonompi kuin korvattava.

Taulukko 4. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien salaattipakkausten ominaisuuksista

Korvaavien kertakäyttö-salaatti-pakkausmateriaalien suhde nykyisiin pakkaus-materiaaleihin	Uudelleen-käyttö	Soveltu-vuuskiertotalouden järjestelmiin	Teknologia ja sen antamat mahdollisuudet	Kaatopaikka-sijoitus	Teollinen kompostointi	Biohajavuus maassa	Biohajavuus meressä	Energiakäyttö	Sääntelystä tulevat vaatimukset	Tuote-suunnitelun antamat mahdollisuudet	Hinta (suhteessa nykyisiin käytettyihin)
Polypropeeni BOPP	0, Elintarvikemuovi eli ei uudelleenkäyttöä	Soveltuu ja kierrätetään.		C-varasto	Ref. Ei hajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref. Ei biohajoa	Poltettava, öljypohjainen.	SUP, pakkausdirektiivi?	voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	0
Polyeteeni LDPE	0, Elintarvikemuovi eli ei uudelleenkäyttöä	Soveltuu ja kierrätetään		kts. edellinen	Ref. Ei hajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref	SUP, pakkausdirektiivi?	voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	0
Polyetyleeni tereftalaatti A-PET (vuoka)	0 teoriassa ok johonkin toiseen tarkoitukseen, mutta ei teollisesti	Soveltuu ja kierrätetään.		kts. edellinen	Ref. Ei hajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref	SUP, pakkausdirektiivi?	voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	0
Bio-PE	0	0, Soveltuu ja kierrätetään.	+ lisäarvo biopohjaisuudesta	+, Kaatopaikalla varastoi ilmakehästä sidottua hiiltä	0, Ei hajoa	0, ei biohajoa	0, ei biohajoa	+ Poltettava biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	+ voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	—
Bio-PET	0 kts. PET	0, Soveltuu ja kierrätetään.	+lisäarvo biopohjaisuudesta	+, Kaatopaikalla varastoi ilmakehästä sidottua hiiltä	0, Ei hajoa	0, ei biohajoa	0, ei biohajoa	+ Poltettava biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	+ voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	—
PLA	Kalvona ei Lämpö-muovattuna kts. PET	0, teoriassa ok. Ei kerätä erikseen tällä hetkellä	+ lisäarvo biopohjaisuudesta. Voidaan valmistaa myös sivuvirroista	+, Kaatopaikalla varastoi ilmakehästä sidottua hiiltä	+	0	0	+ Poltettava biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	+ voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	—
PBS, PBSA, PBAT	-	-, teoriassa ok	+kompostoitavat pakkaukset	0 (bio-hajoa kaatopaikalla).	+	+	+	+ Poltettava, biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	0	—
PHBV-kalvo	-	-	+ kompostoitavat pakkaukset	- (bio-hajoa kaatopaikalla)	+	+	+	+ Poltettava, biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	0	—
Termoplastinen selluloosa CA (esim. Celanese Clarifoil®)	0 kts. PET	0, teoriassa ok	0	(biohajoa kaatopaikalla), -	+	+Jotkut lajit	+Jotkut lajit	+	SUP, pakkausdirektiivi?	+	—

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

Termoplastinen selluloosa (CAB, CAP jne.)	0 kts. PET	0, teoriassa ok. Ei kerätä erikseen tällä hetkellä	+ Puupohjainen raaka-aine	0	0, ei hajoa	0, Ei biohajoa	0, Ei biohajoa	+, poltettava biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	+voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	—
Regeneroitu selluloosa (esim. Cellophane™)	-	0, kierrätys paperinkierrätyksen mukana?	+ Puupohjainen raaka-aine	0, (biohajoa kaatopalkalla)	+	+	+	+, poltettava biopohjainen	Ei SUP ilman pinnoitetta	0	—
Kiillotettu pergamiinipaperi/ glassiinipaperi	-	+, Paperinkierrätys	+ Puupohjainen raaka-aine	0, (biohajoa kaatopalkalla)	+	+	+	+, poltettava biopohjainen	Ei SUP ilman pinnoitetta	+	+ / 0
Muovattava kartonki/kuitu (esim. Stora Enso PureFiber(TM), Södra Fresh	-	+, paperinkierrätys	+ puupohjainen raaka-aine	0, (biohajoa kaatopalkalla)	+	+	+	+, Poltettava biopohjainen	Ei SUP ilman pinnoitetta	+	
Paperi/kartonki dispersiopäällystettynä + bio- muovi-ikkuna	-	+ paperin/kartongin kierrätys. Ikkuna - riippuu materiaalista.	+ uudenlaiset kuitupohjaiset pakkaukset	0, (biohajoa kaatopalkalla)	+	+ (paperi/kartonki) Ikkuna riippuu tyypistä	+	+, poltettava biopohjainen	Dispersiopäällysteen SUP-linjausta ei vielä ole. Kosteussuojan ja ikkunan suhde SUP vaatii keskustelua	+ uudenlaiset kuitupohjaiset pakkaukset	0 / —
Kartonkipakkaus, jossa kansi/ikkuna regeneroitu selluloosa	-	+, kartongin kierrätys	+ kts. edellinen	0, (biohajoa kaatopalkalla)	+	+	+	+, poltettava biopohjainen	Ei SUP materiaalit. Kannen liimaus pohjaan valittava ei SUP-materiaalien joukosta.	+ uudenlaiset kuitupohjaiset pakkaukset	+
Nanoselluloosakalvo barrier-kalvona	-	+, paperinkierrätys	+ kts. edellinen	0	+	+	+	+, poltettava biopohjainen	Ei SUP	+ kts. edellinen	—
Alumiinivuoka ikkunallisa kartonkikannella	0	+ metallinkierrätys + kartongin kierrätys	?	0 /-	—	—	—	—	Vuoka ei SUP. Kannen ikkunan status riippuu valinnasta	+	—

Taulukko 5. Yhteenveto joidenkin korvaavien tuotteiden raaka-aineista ja niiden markkinoista.

Materiaali	Raaka-aineet	Tuotanto ja tuottajat	Globaali markkina, miljardia Yhdysvaltain dollaria	Saatavuus, riittävyys ja hinta
Bio-PE	Sokeriruoko (yleisin), sokerijuurikas, vehnä, kasviöljyt ja eläinrasvat (mm. mäntyöljy, jäterasvat, sivuvirrat)	Globaali kapasiteetti n. 300 000 t/v. Suurin tuottaja Braskem (Brasilia, sokeriruoko): 200 000 t/v, myy tuotettaan yli 30 maahan, myös Suomeen. Tuotantoa ollaan laajentamassa mm. Brasiliassa ja Thaimaassa.	1	Raaka-aineiden saatavuus rajoittaa tuotantoa. Bio-PE:n hinta on ollut n. 30 % korkeampi kuin fossiilisen PE:n. Mäntyöljystä valmistetun PE:n hinta on lähes kaksinkertainen fossiiliseen verrattuna.
Bio-PP	Sokeriruoko, maissi, jäterasvat	Tuotanto vielä pientä. Braskem, Borealis, Neste, LyondellBasell, NaturePlast, Mitsui.	0,1 (biopohjaisten PP-muovien markkina)	Kaupallista tuotantoa vasta vuodesta 2019. Kilpailu jäterasvoista ja -öljyistä kiristyy koko ajan, mikä nostaa tuotantokustannuksia.
Bio-PET	Sokeriruoko, maissi, melassi		5 (biopohjaisten PET-muovien markkina)	Investointeja hidastaa odotus, että biohajoava PEF tulee syrjäyttämään bio-PET:n markkinoilla. PEF-tuotannon aloittaminen kaupallisessa mittakaavassa on kuitenkin viivästynyt paljon.
PLA	Maissi (yleisin), sokeriruoko, sokerijuurikas, kassava/tapioka, peruna. USA:ssa pääosin GMO-maissi.	Globaali kapasiteetti n. 330 000 t/v. Tuotannosta valtaosa kolmessa maassa: USA, Thaimaa ja Kiina. Suurin markkina Eurooppa ja USA, suurin viejämaa USA. Suurin tuottaja NatureWorks (USA), 150 000 t/v.	1	Kysyntä ylitti tarjonnan selvästi jo 2019, jolloin hinnat nousivat 20–50 %. Nyt uusi kapasiteetti saatu pääosin käyttöön mutta kysyntä ylittää edelleen tarjonnan. Kiinan tuotanto lisääntymässä lähivuosina erittäin paljon. PLA on hinnaltaan selvästi halvin ja siten kilpailukykyisin biomuovi.
PHA (polyhydroksi-alkanoaatit)	Kasviöljyt ja -sokerit, esim. rypsiöljy (yleisin), palmuöljy, maissi, sokeriruoko, sokerijuurikas, ruokajäte, jäteöljyt ja -rasvat.	Globaali kapasiteetti 66 000 t/v. Suurin tuottaja Danimer Scientific (USA, rypsiöljy). Pieniä tuottajia myös Kiinassa, Japanissa ja Euroopassa.	0,1	Saatavuus hyvin rajallinen, tuotanto vielä erittäin kallista. PHA on biomuoveista tällä hetkellä kalleinta, noin 2–4 kertaa kalliimpaa kuin fossiilinen muovi. Halvempia raaka-aineita (non-food ja non-feed) tarvitaan.

Taulukossa 5 on tarkasteltu korvaavien tuotteiden raaka-aineita ja niiden markkinoita. Termoplastista selluloosaa, regeneroitua selluloosaa, nanosellua ja glassiinipaperia voidaan valmistaa periaatteessa mistä tahansa runsaasti selluloosaa sisältävästä raaka-aineesta, mutta yleisimmin sitä valmistetaan puusta. Muita vaihtoehtoja ovat muun muassa maatalouden sivuvirrat (esim. olki) ja muut kasvit (esim. bambu). Raaka-aineiden riittävyys tällaisiin korvaaviin materiaaleihin riippuu olennaisesti siitä, missä laajuudessa materiaaleja otettaisiin käyttöön ja mitä raaka-ainetta niissä käytettäisiin. Kestävyyden kannalta ensisijaisia raaka-aineita lienevät useimmiten maa- ja elintarviketeollisuuden aidot sivuvirrat, joilla ei ole (merkittäviä) suoria tai epäsuoria haitallisia maankäyttövaikutuksia sekä sellaiset lähinnä puupohjaiset lignoselluloosat, jotka on tuotettu ekologisesti kestävästi. Tiukasti tulkittuina nämä vaatimukset voivat rajata puupohjaisen raaka-aineiden käyttöä varsin paljon, mutta hieman lievemmin tulkittuna ne voivat avata merkittäviä mahdollisuuksia puupohjaisille raaka-aineille.

Asiaa voidaan tarkastella yksinkertaisen esimerkin valossa. Huhtamäen mukaan Euroopassa käytetään vuosittain kuusi miljardia kertakäyttöistä vuokamaista take-away-ruokapakkausta. Jos kaikki nämä tehtäisiin selluloosasta ja vuoka painaisi 20 grammaa (ks. Stora Enson PureFiber), vuokiin tarvittaisiin yhteensä noin 120 000 tonnia sellua. Puuta kertakäyttövuokiin kuluisi arviolta vajaa 0,7 miljoonaa kuutiometriä. Vuoden 2020 Suomen teollisuuspuun kokonaishakkuumääriin suhteutettuna tämä vastaisi noin prosenttia.

Toisena vaihtoehtoja voidaan tarkastella tilannetta, jossa kaikki edellä mainitut vuoat lisäksi päällystettäisiin regeneroidulla selluloosalla rasvan- ja kosteudenkestävyyden parantamiseksi. Jos pinnoitteen paino olisi 5 grammaa yhtä vuokaa kohti, tähän kuluisi regeneroitua havuselluloosaa noin 30 000 tonnia ja raakapuuta noin 230 000 kuutiometriä. Suhteutettuna raakapuuta kuluisi vuokiin yhteensä tässä tapauksessa noin miljoonaa kuutiometriä, mikä vastaisi noin 1,7 prosenttia Suomen teollisuuspuun vuotuisesta kokonaishakkuumäärästä – tai vaihtoehtoisesti noin kolme prosenttia Suomen kuitupuun hakkuumäärästä vuonna 2020.

Oljen käyttöön pakkausmateriaalien ja siten myös biomuovien raaka-aineena liittyy monia avoimia kysymyksiä (Kasurinen ym. 2021). Tällä hetkellä olki pääosin kynnetään Euroopassa peltoon, mikä auttaa säilyttämään humusta ja sen rakennetta, hiilivarantoja ja mineraaleja, etenkin kalia, ja sitä kautta menettely vähentää synteettisten lannoitteiden tarvetta. Tanskassa ja Englannissa, joissa maissa viljanviljely on hyvin intensiivistä, tilat erittäin suuria ja olkea syntyy paljon, sitä myös poltetaan energiaksi. Pieniä määriä olkea käytetään lannan kuivikkeena, rakentamisessa sekä bioetanolin ja bioetyleenin valmistuksessa. Joissakin kehittyvissä maissa (esim. Pohjois-Intiassa) olkea myös poltetaan suoraan peltoon mutta Euroopassa tästä käytännöstä luovuttiin jo 1980-luvulla.

Kuten muidenkin raaka-aineiden kohdalla, myös oljen kohdalla tulee erottaa teoreettinen, tekninen, kestävä ja taloudellisesti saatavissa oleva potentiaali teollisena raaka-aineena. Nämä potentiaalit voivat vaihdella erittäin paljon paitsi keskenään, myös tarkasteltavan maantieteellisen alueen, maaperän fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien, satotasojen sekä tilarakenteen mukaan. Erityisen suuri epävarmuus liittyy oljen *kestävään* hyödyntämiseen teollisena raaka-aineena. Biomassainventointien mukaan eniten olkea syntyy Ranskassa, Saksassa, Englannissa, Puolassa ja Italiassa, joilla alueilla jopa 65–75 prosenttia oljesta voisi olla teknisesti saatavissa. Kestävä potentiaali on luultavasti selvästi pienempi, mutta arviot siitä vaihtelevat erittäin paljon, 15 prosentista 60 prosenttiin. Lopputulos riippuu jokseenkin täysin siitä, miten oljen kestävä

käyttö määritellään. Sen jälkeen tulee vielä arvioida, millä hinnalla ja missä määrin maanomistajat ovat valmiita olkea myymään, eli kuinka paljon olkea olisi taloudellisesti saatavilla.

Suomessa olkea syntyy vuosittain noin 2,65 miljoonaa tonnia (kuiva-ainetta) (Pahkala ym. 2009). Eniten sitä syntyy Varsinais-Suomessa, Uudellamaalla ja Etelä-Pohjanmaalla, yhteensä noin 1,1 miljoonaa tonnia. Koska Suomessa viljakasvien sadot ovat pienempiä kuin Keski-Euroopassa, myös hehtaarikohtaiset olkimäärät jäävät jonkin verran pienemmiksi. Suomessa viljalat ovat myös alueellisesti enemmän hajallaan.

Vaikka edellä esitetyt laskelmat ovat vain suuntaa antavia, ne auttavat hahmottamaan puupohjaisten (ja jossain määrin yleisemmin oljen ja muiden lignoselluloosapohjaisten) raaka-aineiden mahdollisuuksia korvata fossiilisia muoveja kertakäyttöisissä take-away-vuoissa. Jos muovisia pakkausmateriaaleja aletaan korvata puupohjaisilla useissa käyttökohteissa samanaikaisesti, tarvittavat raaka-ainemäärät kasvavat nopeasti edellä esitettyjä paljon suuremmiksi. Kysynnän kasvu todennäköisesti näkyisi myös raaka-aineen hinnan nousuna. Toisaalta jos vain osa muovitotteista korvataan, vaikutukset eivät luonnollisesti ole niin suuria.

Kysymys on myös siitä, johtaako puusellun lisääntyvä käyttö kertakäyttöisissä take-away-ruokapakkauksissa siihen, että sellua ei tämän johdosta riitä johonkin muuhun nykyiseen tai uuteen käyttöön, jolloin sitä korvattaisiin jollakin muulla raaka-aineella. Tämän kysymyksen analysointi edellyttäisi hyvin laajaa näkökulmaa, joka kattaisi erilaisia raaka-aineita ja tuotteita ja niiden vaihtosuhteita ja korvaavuuksia. Tarkastelun tulisi sisältää erilaisia ajallisia ja alueellisia ulottuvuuksia samoin kuin hintoja ja ympäristövaikutuksia sekä niiden muutoksia, mikä tekee tehtävästä erittäin haastavan.

Hieman yksinkertaistaen voidaan todeta, että vaikka paperintuotannon väheneminen Suomessa (ja Euroopassa) luo mahdollisuuden käyttää sellua muihin tarkoituksiin, ei ole lähtökohteisesti lainkaan selvää, millaiseen käyttöön tämä vapautuva sellumäärä kannattaisi ohjata niin että ilmasto- ja muut ympäristöhyödyt sekä liiketaloudelliset kannusteet vaihtoehtoisiin sellun allokatioihin verrattuna olisivat mahdollisimman suuria. Arviointia haittaa myös se, että ympäristöhyödyillä ja -haitoilla ei tyypillisesti ole sellaisia markkinahintoja, joiden perusteella eri allokatioiden taloudellista tehokkuutta voitaisiin yhteismitallisesti arvioida. Sama koskee tilannetta, jossa ratkaisut perustuisivat sellun tuotannon ja siten myös hakkuumäärien lisäämiseen Suomessa tai jossakin muualla.

8.2. Pakkaaminen / yksittäispakattu makeistuote

8.2.1. Materiaalit yksittäispakatuissa makeistuotteissa

Yleisin materiaali patukkakäteenä on bi-akksiaalisesti orientoitu polypropeenikalvo (BOPP). Kalvo on puhdasta polypropeenina lukuun ottamatta painatusta ja saumoissa käytettyä liimaa. Saumat on liimattava, koska BOPP-kalvoa ei voi kuumasaumata.

Orientoitu kalvo valmistetaan normaalisti tasokalvonekstruusiomenetelmällä, minkä jälkeen kalvo venytetään mekaanisesti sekä kalvon kulkusuuntaan että kalvon kulkusuuntaa nähden poikittain. Näin tasokalvossa olevan polymeeriketjut muodostavat orientoidun rakenteen, mikä muokkaa kalvon makroskooppisia ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Pakkaussovelluksen kannalta merkittävimpiä BOPP-kalvon ominaisuuksia ovat:

- kalvon paksuus huomioiden erinomaiset mekaaniset ominaisuudet: vetolujuus ja jäykkyys
- kalvon läpinäkyvyys ja kirkkaus, joita voidaan säädellä
- hyvä dimensiostabiliteetti
- kalvon työstettävyys esimerkiksi pakkauslinjoilla
- stabiili materiaali käytössä eli ei kutistu tai muuta muotoaan ulkoisen kosteuden tai lämpötilavaihtelujen vuoksi
- edullinen materiaali
- korkea sulamispiste sekä hyvä lämmönkesto
- hyvä kemiallinen kestävyys (haitalliset kemikaalit, kosteus, öljyt ja rasvat)
- voidaan painaa nopeilla painolinjoilla
- kevyt materiaali
- kierrätettävä

Orientointiprosessi kuitenkin muuttaa polypropeenin ominaisuuksia joiltakin osin myös huonompaan suuntaan. Tärkeimmät BOPP-kalvon heikkoudet ovat

- kaasunpidätys- eli kaasubARRIER-ominaisuudet heikkenevät orientoinnissa
- repeytyvyys- ja puhkeamislujuuDET heikkenevät orientoinnissa
- peruskalvo ei ole kuumasaumattavissa, mutta markkinoilla on jo useita pinnoitettuna kuumasaumattavia tuotteita.

Taulukko 6. Biaksiaalisesti orientoidun polypropeenikalvon (BOPP) tyypillisiä ominaisuuksia.

BO-PP	Arvo	yksikkö
WVTR (vesihöyryn läpäisy)	3,9–6,2	g/m ² /24h (<50 µm kalvo)
OTR (hapenläpäisy)	1550–2500	MI/m ² /24h (<50 µm kalvo)
Tiheys	0,89–0,91	g/cm ³
Tyypillinen paksuus	20–60	µm
Repäisylujuus	125–394	g/mm
Vetolujuus (MD/TD)*	150 / 250	MPa
Venymä (MD/TD)	150 / 50	%
Kiilto (Gloss)	Up to 95	%
Käyttölämpötila	-20 – +120	°C

MD = konesuunta, TD=poikittain konesuuntaan

<https://innoviafilms.com/files/documents/BB-320105-H-UK-v6.pdf>

<https://www.toyobo-global.com/seihin/film/package/products/pylenot.html>

<https://www.cosmofilms.com/blog/uses-and-attributes-of-bopp-films-its-pros-and-its-cons/>

<https://www.m-petfilm.de/en/service/comparative-data-for-plastic-films/>

Ominaisuudet, jotka yksittäispakatun makeistuohtteen pakkauksen tulisi minimissään täyttää ovat:

1. Mekaaninen suoja, joka mahdollistaa tuotepakkauksen käsittelyn ja hygieenisen siirron matkalla tuottajalta kuluttajalle.
2. Kosteudenkesto (WVTR Water vapour transmission rate), joka estää tuotteen kuivumisen ja toisaalta myös 'vettymisen'.
3. Alhainen hapen läpäisykyky eli happi-barrier (ORT Oxygen transmission rate), mikä estää tuotteen hapettumisen ja sitä kautta pilaantumisen.
4. Rasvankesto/öljynkesto, mikä estää tuotteen rasvan kulkeutumisen pakkauksen pinnalle esimerkiksi suklaapatukoissa.
5. Ruokakontaktiin hyväksytty materiaali
6. Soveltuvuus automaattisiin pakkauslinjoihin
7. Painettavuus, tuotetietojen painamiseksi pakkaukseen. Myös erillisten kierrätyksessä irrotettavien tarrojen käyttö mahdollista.
8. Liimattavuus / kuumasaumautuvuus, mikä mahdollistaa pakkauksen saumojen sulkemiseen.

Taulukko 7. Mahdollisia öljypohjaisen BOPP:n korvaavia materiaaleja yksittäispakatun makeistuohteen (esimerkiksi suklaapatukka) pakkaamiseen. Vaatimukset numeroituna yllä olevassa listassa.

Materiaali	Sovelluskohtaiset vaatimukset, jotka materiaali täyttää	Suhde SUP-direktiiviin	Tyypillinen määrä pakkauksessa	Biohajoavuus luonnossa / teollisesti Kierrätys	Fysikaaliset ominaisuudet ym.
Tyypillinen materiaali PP (BOPP)	Täyttää listan vaatimukset 1–8.	SUP materiaali	BOPP-kalvo paksuus 50 g/m ² (~60 µm). Suklaapatukka 1 cm x 2,5 cm x 10 cm. Pakkausala 11 cm x 15 cm = 165 cm ² , massa 0,83 g	Ei / Ei Soveltuu täysin muovinkierrätykseen	Saumojen liimaus aiheuttaa lisärasituksen ympäristölle. Liima- keuttaa kierrätettävyyttä, mutta ei estä sitä. WVTR 3,9-6,2 g/m ² /day OTR 1550-2500 ml/m ² /day
Regeneroitu selluloosa (esim. Cellophane™ tai Natureflex™ (ei viskoosiprosessi))	Täyttää listan vaatimukset 1 ja 3–7. Kosteudenkesto pinnoitteella. Sulkeminen liimauksella ok, kuumasaumaus pinnoitteella.	Ei SUP materiaali sellaisenaan. Pinnoitettuna riippuu pinnoitteesta	Selluloosakalvo 45 g/m ² (30 µm). Pakkausala 165 cm ² , massa 0,7 g (CHECK)	KYLLÄ / KYLLÄ	Saumat todennäköisesti liimattava -> lisärasitus ympäristölle Myös pinnoitettuja lajeja (metallipinta ja kuumasaumapinnoitus) WVP <10 g/m ² /day (can be tailored) OTR <5 cm ³ /m ² /day Hyvä rasvankesto Cellophane(TM) uncoated OTR 3 cm ³ /m ² /day/atm WVTR 1700 g/m ² /day
Barrier-pinnoitettu paperi (bio-PP:llä tai bio-PE:llä)	Täyttää listan vaatimukset 1–8. Sulkeminen liimauksella	SUP-materiaali (laajennettu tuottajavastuu)	Paperi 80 g/m ² , Bio-PP tai bio-PE-kerros 15 g/m ² (~20 µm). Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (paperi), 0,25 g (bio-PP tai bio-PE).	Ei / Ei Paperi helposti kierrätettävä, jos pinta voidaan irrottaa re- jektiiin	Saumat liimattavissa tai kuumasaumattavissa muovin puolelta. CPP: OTR 2300–2500 cc/m ² /atm/day (20µm) WVTR 6-8 g/m ² /day (20µm) <i>Neelam 2019</i>
Glassiinipaperi, joka voi olla barrier-pinnoitettu (silikonilla -> leivinpaperi; vahalla -> voipaperi) Glassiinipaperi (Esim. Ahlstrom-Muksjö LamiBak™, Uusi	Täyttää listan vaatimukset 1–8 Sulkeminen liimauksella.	Paperi ei SUP Silikonin suhde SUP-direktiiviin avoin.	Paperi 80 g/m ² , silikonin pinnoite 20 g/m ² (~20 µm). Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (paperi), 0,3 g (silikoni).	Paperi: KYLLÄ / KYLLÄ Silikonipinnoitettuna Ei / Ei Pinnoittamattomana Paperinkierrätykseen soveltuva	Silikoni on käytännössä Si-pohjainen muovi (Virallinen status?) LamiBak(TM) silikonipinnoitettu: WVTR 100–250 g/m ² /day

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

tuote Ahlström-Munksjöltä PureBarrier™)				PureBarrier™ on pinnoittamaton	PureBarrier™ 100 % selluloosakuiduista, kaupallistettu kahvikapseleiden kansissa, parhaillaan arvioitavana monissa muissa ei-ruokasovelluksissa
Paperi + metallifolio	Täyttää listan vaatimukset 1–8. Sulkeminen liimauksella.	Ei SUP materiaali (jos paperissa ei muovipinnoitetta)	Paperi 80 g/m ² . alumiinifolio 40 g/m ² (~15 µm). Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (paperi), 0,65 g (alumiini).	Paperi: KYLLÄ / KYLLÄ Alumiini: EI / EI Kierrätys paperin ja metallinkierrätyksen kautta	Saumattomasti liimattava sopivalla ei SUP-materiaalilla WVTR <0,01 OTR <0,01
Paperi pinnoitettu biomuovilla (esim. PHBV)	Täyttää listan vaatimukset 1–8. Ruokakontakti hyväksyntä joillain laaduilla. Sulkeminen liimaamalla.	SUP-materiaali (laajennettu tuottajavastuu)	Paperi 80 g/m ² . Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (paperi) 20 µm PHBV pinnoite 0,4g	KYLLÄ / KYLLÄ Paperin-/ kartongin kierrätykseen soveltuva. PHBV reaktiivinen -> kompostointi, poltto, kierrätys	Ei vielä kaupallinen tuote, mutta mahdollinen valmistaa ekstruusiopinnoittamalla PHBV: WVTR 2,36 gmm/m ² /day OTR 55,1 cc mm/m ² /day Naser2021 OTR 247 cc-mil/m ² /day WVTR 118 g-mil/m ² /day Thellen 2008 Hyvä rasvabarrier Sängerlaub 2019
Paperi pinnoitettu vesipohjaisella dispersiolla (esim. CH-Polymersin pigmenttipohjainen CHP BAR tai Imerys Barisurf®) Mitsubishin HiTec Barricote®-paperi elintarvikkeiden pakkamiseen	Täyttää listan vaatimukset 1–8. Liimaus ok, myös kuumasaukaus	Paperi ei SUP Dispersiopinnoitteen SUP-linjausta ei vielä ole, mutta mineraalipohjaisena todennäköisesti ei SUP materiaali	Paperin paksuus 80 g/m ² . Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (pohjapaperi). Pinnoite riippuu paksuudesta ja levitysmenetelmästä	KYLLÄ / KYLLÄ Paperinkierrätykseen soveltuva	Barricote® pinnoitettu: WVTR 70 g/m ² /day (38 C, 90% RH) OTR <100 cc/m ² /day
Paperi pinnoitettuna biovahalla (Solenis TopScreen™)	Täyttää listan vaatimukset 1 ja 3–8. Happi ja vesihöyry-barrier todennäköisesti kohtuullinen. Sulkeminen liimauksella.	Paperi ei SUP. Biovahapinnoitteen status epäselvä. Jos vaha esiintyy sellaisenaan luonnossa, eikä sitä ole kemiallisesti muunneltu, ei kuulu SUP-direktiivin piiriin.	Paperin paksuus 80 g/m ² . Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (pohjapaperi). Pinnoite riippuu paksuudesta ja levitysmenetelmästä	KYLLÄ / KYLLÄ Paperinkierrätykseen soveltuva	Uusi pinnoite, jossa vähintään 35 % (->100 %) uusiutuvista raaka-aineista. Kompostoitava. Hapen, vesihöyryn ja rasvankesto riippuu laadusta. Myös kuumasaumattavia lajeja.
Paperi pinnoitettu bioORMO-CER® muutaman mikronin paksulla lakkakerroksella	Täyttää listan vaatimukset 1–4, 6–8.	Pinnoite saattaa olla SUP-materiaali (status epäselvä)	Pakkausala 165 cm ² , tiheys 1,25 g/cm ³ , Pinnoitteen paksuus 5µm -> massa 0,1g	KYLLÄ / KYLLÄ	Biohajoava pinnoitemateriaali

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

	Ruokakontakti-status epäselvä. Sulkeminen liimauksella. Mahdollisesti antimikrobinen			Paperin-kierrätykseen soveltuva	OTR 25 cm ³ /m ² *day*bar (25 % moisture) WVTR <0.1 mg/cm ² (10 days 60°C)
PBS / PBSA / PBAT /PLA /PHA / tärkkelys seos kalvona - useita valmistajia ja tuotteita	Monet tuotteista täyttävät listan vaatimukset 1 ja 5–8. Barrier-ominaisuudet riippuvat tuotteesta	SUP-materiaali	Pakkausala 165 cm ² , tiheys 1,25 g/cm ³ , kalvon paksuus 100 µm -> massa 2 g	KYLLÄ / KYLLÄ Osa tuotteista biohajoava maaperässä ja meressä	Useita kaupallisia tämän tyyppisiä seoksia ja kalvoja markkinoilla. Ominaisuudet riippuvat tuotteesta PBAT: OTR 1200 cm ³ /(m ² *day*bar) WVTR 135 g/m ² /day (23 C, 85 % r.h.) <i>Costa 2020</i> <i>Rafiqah 2021</i> <i>BASF data sheet</i>
PLA-kalvo orientoituna	Täyttää listan vaatimukset 1 ja 4–8. Barrier-vaatimukset täytyy varmentaa sovelluksen mukaan. PLA:lla kohtuulliset barrier-ominaisuudet eli todennäköisesti 2 ja 3 myös ok.	SUP-materiaali	Pakkausala 165 cm ² , tiheys 1,24 g/cm ³ , kalvon paksuus 100µm -> massa 2,046 g	Ei / KYLLÄ Kierrätettävissä oleva poly-esteri. Useita menetelmiä kehitteillä. Jonkin verran salitaan myös PET-kierrätyksessä.	Useita kaupallisia kalvonvalmistajia. BO PLA film (Ingeo™ 4043D, 1mil film): OTR 550 cc-mil/(m ² *24h*atm) WVTR 325 g-mil/m ² /24h atm
Paperi + sol-gel barrier-kerros (SiOx)	Kosteus-, happi-, rasva- ja aroma-barrier Mekaaninen suoja Painettavuus ok	Ei SUP materiaali	Paperi 80 g/m ² . Pakkausala 165 cm ² , massa 1,3 g (paperi) Pinnoite muutamia mikrometrejä?	Paperi: KYLLÄ / KYLLÄ Sol-gel: Ei / Ei	Ei kaupallinen tuote vielä Sol-gel pinnoite todennäköisesti ei haitallinen kompostoinnissa

Yksittäispakatun makeistuotteen, kuten suklaapatukan, kääreen päätyminen johonkin muuhun kuin hallitun kierrätysjärjestelmän piiriin on osoittautunut potentiaaliseksi riskiksi, mikä puoltaa myös vaihtoehtoisia biohajoavia materiaalivalintoja BOPP:n sijaan. Pakkauksen suunnittelu monikäyttöiseksi on myös hyvin vaikeaa puoltaen näin lähinnä paperi- ja kartonkipohjaisia vaihtoehtoja eivätkä biomuovit tule tällöin kyseeseen. Edellisessä taulukossa on mainittuna myös mahdolliset biohajoavat biomuoviratkaisut. PHA-tyyppisten ja kyseisen tyyppisiä polymeerejä sisältävien muovikalvoseosten luonnossa hajoavuus on todennettu olevan samaa luokkaa tai nopeampi kuin selluloosan, joskin PHA-yhdisteiden biohajoavuuteen merissä liittyy selkeitä reunaehtoja kuten aikaisemmin on todettu (Meereboer et.al. 2020⁴⁷ and Schröpfer et.al. 2015⁴⁸). PLA-kalvo on otettu mukaan yhtenä tulevaisuudessa mahdollisesti täysin kierrätettävänä biopohjaisena muovimateriaalina. Teknisesti PLA:n kierrätys on mahdollista, mutta kierrätyksen kaupalliseen toimivuuteen ja ympäristövaikutuksiin liittyy vielä paljon avoimia kysymyksiä.

Sellupohjaisissa paperi- ja kartonkiratkaisuissa suurimmat haasteet liittyvät barrier-ominaisuuksiin (kosteus, happi ja rasva) ja sitä kautta tuotteen säilymiseen syöntikelpoisena myyntiketjussa ja oston jälkeen kuluttajan hallussa esimerkiksi taskussa tai kassin pohjalla ja hyvin eri lämpötila- ja kosteusolosuhteissa. Näin ollen pakkauskääre mitä todennäköisimmin vaatii jonkinlaisen pinnoitteen barrier-ominaisuuksien varmistamiseksi. Ahlström-Munksjö on kehittänyt näitä haasteita ratkaisemaan uuden tuotteen PureBarrier^{TM49}, joka on täysin selluloosapohjainen ja biohajoava happi- ja rasvabarrier-materiaali. Yhtiön oman ilmoituksen mukaan PureBarrierTM on kaupallistettu kahvikapseleiden kansissa ja espressojärjestelmien haudutusmateriaaleina ja on parhaillaan arvioitavana monissa muissa ei-ruokasovelluksissa (yhtiön Health & Beauty-liiketoiminta-alueella).

Haettaessa materiaalien soveltuvuutta yksittäispakattujen makeistuotteiden pakkaukseksi löytyy vastaavuutta materiaaliominaisuuksien suhteen esimerkiksi kertakäyttökahvikuppien tuoteryhmästä, josta kattavan yhteenvedon on tehnyt Triantafillopoulos et al. Kyseisessä artikkelissa on koottuna hyvin monenlaiset paperin ja kartongin pinnoituksessa käytetyt ratkaisut PE:stä biomuoveihin ja uusiin vesipohjaisiin pinnoitemateriaaleihin. Mainittuna on mm. CH-Polymersin CHP BAR, Imeryksen Barrisurf[®] ja Soleniksen TopScreenTM

CH-Polymers valmistaa useita barrier-pinnoitteita paperin ja kartongin pinnoittamiseen tuomaan rasvan, öljyjen ja vedenkesto-ominaisuuksia. CHP BAR tuotteet on suunniteltu korvaamaan PE, fluorikemikaalit ja vahat pikaruokapakkausten, kertakäyttökuppien ja -lautasten, pillien jne. pinnalla eli tuotteet on hyväksytyt elintarvikekäyttöön. Tuote perustuu akrylaattimodifioituun pigmenttiin. Pinnoitettu paperi tai kartonkituote soveltuu kierrätykseen ja on biohajoava teollisessa kompostoinnissa.⁵⁰

Imeryksen BarrisurfTM HX on vesipohjainen mineraalipinnoite. Se perustuu suuren pinta-alan omaavaan tasomaiseen kaoliiniin (kaoliinisaveen/alumiinisilikaattiin), joka muodostaa tiiviin pinnan paperille antaen kosteus-, rasva-, aromi- ja happi-barrierin tuotteelle. Sideaineena on

⁴⁷ <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/gc/d0gc01647k>

⁴⁸ https://www.researchgate.net/publication/277964579_Biodegradation_evaluation_of_bacterial_cellulose_vegetable_cellulose_and_poly_3-hydroxybutyrate_in_soil

⁴⁹ <https://www.ahlstrom-munksjo.com/Media/releases/press-releases2/2021/ahlstrom-munksjo-launches-purebarrier-an-innovative-compostable-oxygen-barrier-mono-material/> julkaistu 23.9.2021

⁵⁰ <https://ch-polymers.com/barrier-coatings/#products-for-online-offline-coating>

polymeerinen sideaine. Pinnoitettu tuote soveltuu kierrätykseen.⁵¹ Kaoliinisavea käytetään yleisesti myös painopapereiden pinnoitteena tuomaan niille ennen muuta tasaisuutta ja kiiltoa.

Mitsubishi HiTec Paper on tuonut markkinoille kuumasaumautuvan ja printattavan barrier-paperin, joka on sertifioitu elintarvikkeiden pakkaamiseen. Se ei sisällä muovikalvoja, alumiinia, lakkaa, fluorivetyjä, kloorattuja hiilivetyjä tai optisia kirkasteita. Teknologia perustuu vesipohjaiseen pinnoitteeseen. Materiaali on kierrätettävissä sekä kompostoituva ja hajoaa merivedessä. Barricote-lajeja on kuutta erilaista, mutta Mitsubishi kertoo, että mikään niistä ei sisällä muoveja, fluorovetyjä (PFAS, PFOS), kloorattuja hiilivetyjä (PVDC) tai optisia kirkasteita. Toisaalta lajien tekniset ominaisuudet ja raaka-aineet vaihtelevat, ja tuotetiedoissa yhtiö tarkentaa niiden sisältävän "suuren määrän uusiutuvia ainesosia ("high content of renewable ingredients"). Tämä viitanee siihen, että ainakin joissain Barricote-laaduissa voidaan käyttää myös fossiilisia ja/tai epäorgaanisia raaka-aineita kuten silikaatteja (silikonointia). Yhtiö ei kuitenkaan kerro koostumuksia tarkemmin. Tuotetiedoista myös ilmenee, että kaikki laadut eivät ole biohajoavia meressä. Barricote-tuotteet valmistetaan yhtiön Saksan tehtailla ja niitä käytetään mm. rasvaisten ruokien kääreissä (mm. pikaruokakääreissä) ja erilaisten kartonkipakkausten pinnoitteina.⁵²

Soleniksen TopScreen™ barrier-teknologia perustuu polystyreenimaleiiniinhydridin imidointireaktion kasviöljyn läsnä ollessa, jolloin muodostuu core-shell rakenne, joka sisältää kasviöljyn. Kyseiset polymeeriset 0,1–0,15 mikronin kokoiset partikkelit muodostavat vesidispersioon. TopScreen-lajeja on kuitenkin useita erilaisia, ja yhtiön oman ilmoituksen mukaan esimerkiksi vesitiiviissä laaduissa (water repellent), joita käytetään muun muassa kuppikartonkien pinnoitteina, uusiutuvien raaka-aineiden osuus on enintään 35 prosenttia. Yhtiön tavoitteena on kasvattaa se 50 prosenttiin. Yhtiön rasvojen ja öljyjen kestävässä pinnoitteessa (TopScreen Oil & Grease), jota käytetään erityisesti pikaruokaravintoloiden kartonkipakkauksissa ja paperikääreissä, uusiutuvien raaka-aineiden osuus voi olla enimmillään 70 prosenttia. Yhtiön kolmannen TopScreen-laadun, Biowaxin pinnoite on täysin kasviöljypohjainen, mutta yhtiö ei ilmoita kasviöljyn raaka-ainetta. Laadun ja käyttötarkoituksen kuvauksen perusteella kyse on kasviöljypinnoitetusta glassiinipaperista, jonka pinnoitteen läpäisyominaisuuksia voidaan säätää tarpeen ja tuotteen mukaan. TopScreen™ pinnoitetut paperit ovat kierrätettäviä, kompostoituvia ja hyväksytyjä elintarvikekontaktiin.⁵³

BioORMOCER® on Fraunhoferin kehittämä kirkas pinnoite, joka levitetään lakkatyypisesti substraatin pinnalle. Se perustuu orgaanisen Tamarindin siemenkumin polysakkariineihin (Glyate®) ja epäorgaanisiin etoksisilaneihin. Pinnoite on antistaattinen, antimikrobinen, antaa vesihöyry-, happi- ja aromibarrierin, tarttuu hyvin monenlaisille pinnoille ja on biohajoava⁵⁴ (Emmert et.al. 2021). Tamarindi (*Tamarindus indica*) on hernekasveihin kuuluva puu, joka on peräisin trooppisilta Itä-Afrikan aroilta. Sitä kasvatetaan nykyään myös Aasiassa, Etelä-Amerikassa ja Karibian alueella. Puun hedelmä on iso palko, jonka sisällä on siemeniä. Tamarindin

⁵¹ <https://product.statnano.com/product/9697/barrisurf%E2%84%A2>.

⁵² https://www.mitsubishi-paper.com/fileadmin/user_upload/downloads/Barricote/barricote Barrier Papers EN 9 2021.pdf

⁵³ <https://www.solenis.com/en/research-and-development/innovations/topscreen-biowax-based-barrier-coatings>

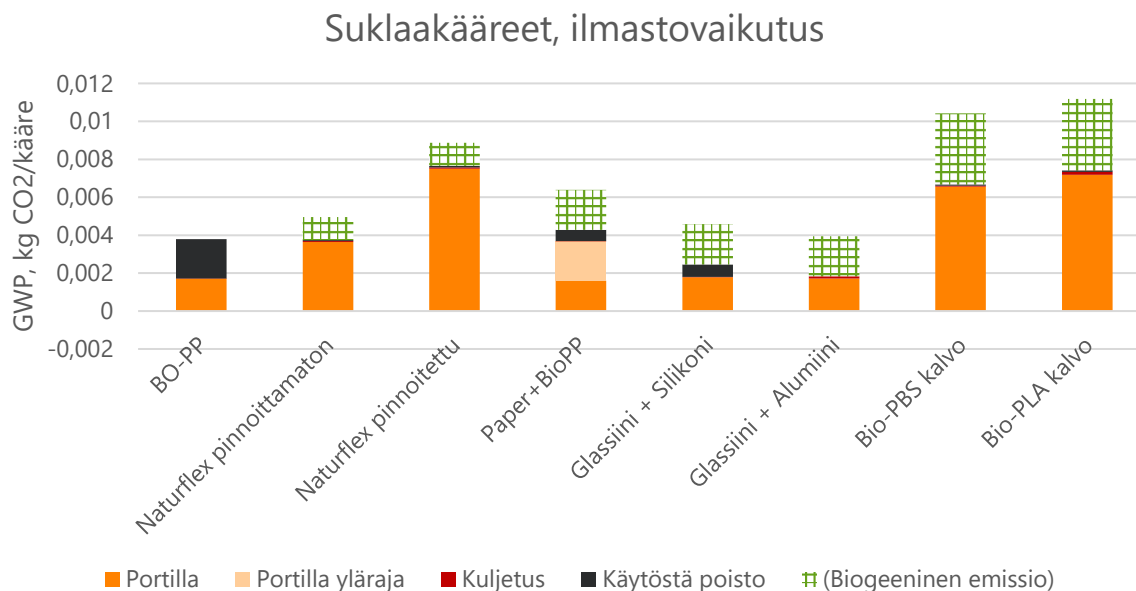
⁵⁴ <https://www.isc.fraunhofer.de/en/fields-of-activity/applications/films-and-packaging.html#1212660331>

palkojen ja siementen käyttö on hyvin moninaista: niitä käytetään paitsi ravintona myös lisäaineena elintarviketeollisuudessa, värjäyksessä tekstiiliteollisuudessa sekä liima- ja lääkeaineena.

PBS, PBSA, PBAT, PLA, tärkkelys ja niiden seospolymeerit ovat valmistusmääriltään yksi suurimmista biopolymeeri-luokista. Tämän tyyppisten seosmateriaalien valmistajia on useita, ja pakkauspuolella niiden fokus on ollut lähinnä biohajoavat kalvot kuten muovipussit ja katemateriaalit. Näistä on kerrottu lisää aiemmin salaattipakkausten osiassa. Polymeereinä ne kuuluvat kuitenkin SUP-materiaaleihin.

8.2.2. LCA-tulokset: makeiskääreet

Suklaakääreiden valmistuksen ("portilla" = päästöt siihen mennessä, kun tuote lähtee tehtaan portilta) ja käytöstä poiston ilmastovaikutukset esitetään Kuvassa 6. Koska makeiskääreet päätyvät yleisesti sekajätteeseen, ja niiden kierrätys on ongelmallista, eri vaihtoehtoja käytöstä poistoa ei ole tässä tarkasteltu. Joissain tapauksissa valmistuksen päästöjen vaihteluväli on sisällytetty tarkasteluun ("portilla, yläraja"). Tähän vaihteluun vaikuttavat mm. erilaiset ratkaisut materiaalien määrissä. Kuvasta nähdään, että tässä tapauksessa fossiilisen materiaalin ja biopohjaisten vaihtoehtojen erot eivät ole yksiselitteisiä. Regeneroituun selluloosaan (Naturflex) perustuva ratkaisu näyttää tarkastelussa suhteellisen korkeapäästöiseltä, erityisesti pinnoitetun materiaalin tapauksessa. Paperipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat samaa suuruusluokkaa tai pienempiä kuin fossiilisen materiaalin, ja tämä johtuu erityisesti siitä, että käytöstä poistossa ei fossiilisia CO₂-päästöjä juurikaan esiinny biopohjaisten tuotteiden yhteydessä. Sen sijaan biomuovipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat kohtalaisen suuret, johtuen korkeapäästöisestä valmistusprosessista.



Kuva 6. Suklaakääreiden ilmastovaikutukset, kg CO₂ ekv./kääre

8.2.3. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien makeiskääreiden ominaisuuksista

Yhteenvetona yksittäispakatun makeistuosteen (esimerkiksi suklaapatukka) pakkauksen korvaavista materiaaleista voidaan sanoa, että tällaisella pakkauksella on tyypillisesti tiukat vaatimukset kosteus-, rasva- ja kaasusuojausten (barrier-ominaisuudet) suhteen. Säilytysajat voivat olla jopa kuukausia vaihtelevissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa, ja tuona aikana tuotteen

tulisi säilyä muuttumattomana. Tällä hetkellä tyypillisin käytössä oleva pakkausmateriaali on biakksiaalisesti orientoitua polypropeenaa, joka kuuluu SUP-direktiivin alaisiin materiaaleihin.

Yksittäispakatun makeistuotteen pakkauksen suunnitteleminen sellaisenaan uudelleen käytettäväksi on hyvin vaikeaa. SUP-direktiivin mukaisiksi muovina korvaaviksi vaihtoehtoina jäävät lähinnä erilaiset paperipohjaiset ratkaisut, joihin barrier-ominaisuudet on tuotu muovittomilla pinnoitteilla, kuten biovahat, mineraali- tai metallipinnoitteet. Esimerkiksi Ahström-Munksjö on tuonut markkinoille uuden tuotteen PureBarrier™ ja Wax Alternative Technologyn, jossa happi- ja kaasu-barrier perustuu kasvipohjaisiin öljyihin ja uusiutuviin raaka-aineisiin. Kasviöljyn alkuperää ei kerrota, mikä voi viitata siihen, että se on peräisin ruoka- tai rehukasveista. Myös ratkaisut, jotka perustuvat regeneroituun selluloosaan voivat tulla kyseeseen.

Tämän tyyppisillä pakkauksilla on suuri todennäköisyys päätyä luontoon, jolloin on suotavaa, että pakkaus hajoaa helposti luonnossa aiheuttamatta mikromuovihaittaa tai haittaa mahdollisista haitallisista pinnoitteista. Biomuoveista (jotka kylläkin kuuluvat SUP-direktiivin piiriin) löytyy useita esterityyppisiä helposti jopa meressä hajoavia ratkaisuja joko paperin pinnoitukseen tai käytettäväksi sellaisenaan, esimerkiksi PHBV, PHBH tai PBS. On huomioitava, että näidenkin muovien ilmoitettu biohajoavuus merissä 6 kuukaudessa perustuu useilla valmistajilla standardiin ASTM D 6691, jossa meriveden lämpötila on +30 °C (±2 °C), mitä lähestymistapaa voidaan pitää hyvin puutteellisena useimpien maailman merien ja erityisesti valtamerien kannalta. Kylmemmissä vesissä hajoaminen kestää pidempään.

Ilmastovaikutusten osalta fossiilisen materiaalin ja biopohjaisten vaihtoehtojen erot eivät ole yksiselitteisiä. Regeneroituun selluloosaan perustuva ratkaisu näyttää tarkastelussa suhteellisen korkeapäästöiseltä, erityisesti pinnoitetun materiaalin tapauksessa, kun taas paperipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat samaa suuruusluokkaa tai pienempiä, kuin fossiilisen materiaalin, mihin vaikuttaa fossiilisten CO₂-päästöjen käytöstä poiston yhteydessä. Biomuovipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat kohtalaisen suuret, johtuen korkeapäästöisestä valmistusprosessista.

Korvaavien ja korvattavien makeiskääreiden tärkeimmät vertailtavat ominaisuudet on esitetty Taulukossa 8. Korvaavia ratkaisuja on verrattu korvattaviin, ja vertailussa on käytetty seuraavaa asteikkoa: **0** = sama kuin korvattava, **+** = parempi kuin korvattava, **++** = huomattavasti parempi kuin korvattava, **-** = huonompi kuin korvattava, **--** = huomattavasti huonompi kuin korvattava.

Taulukko 8. Korvaavien ja korvattavien makeiskääreiden tärkeimmät vertailtavat ominaisuudet.

Korvaavien yksittäispakatun makeistuote-pakkauksen materiaalien suhde nykyisiin pakkausmateriaaleihin	Uudelleenkäyttö	Soveltuvuus kiertotalouden järjestelmiin,	Teknologia ja sen antamat mahdollisuudet	Kaatopaikka-sijointus	Teollinen kompositointi	Bio-hajoavuus maassa	Bio-hajoavuus meressä	Energiäkäyttö	Sääntelystä tulevat vaatimukset	Tuote-suunnittelun antamat mahdollisuudet	Hinta (suhteessa nykyisiin käytettyihin)
Polypropeeni BOPP	0, Elintarvikemuovi eli ei uudelleen käyttöä	Soveltuu ja kierrätetään.		kaatopaikalla C-varasto	Ref. Ei hajoa	Ref. Ei biohajoa	Ref. Ei biohajoa	Poltettava, mutta öljypohjainen.	SUP, pakkausdirektiivi?	voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	0
Barrier pinnoitettu paperi esim. Bio-PE:llä ok	0, elintarvikepakkaus eli ei uudelleen	+, Paperinkierrätys, jos pinta voidaan erottaa	+	+, varasto ilmakehästä sidottua hiiltä	- / + PE ei, paperi ok	-	-	+, paperi biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	+ voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	-
Paperi pinnoitettuna biomuovilla, PHBV-kalvo	0, elintarvikepakkaus eli ei uudelleen	+, Paperinkierrätys, jos pinta voidaan erottaa	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	SUP, pakkausdirektiivi?	0, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-
Regeneroitu selluloosa (esim. Cellophane™)	-	0, paperinkierrätys?	+	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	Ei SUP ilman pinnoitetta	0, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-
Kiillotettu pergamiini / glassiini-paperi (Uusi tuote Ahlström-Munksjö PureBarrier(TM))	-	+, Paperinkierrätys	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	Ei SUP ilman pinnoitetta	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	+
Paperi dispersiöpäällystettynä vesipohjaisella dispersiolla (esim. CH-Polymersin pigmentipohjainen CHP BAR tai Imerys Barrisurf®) Mitsubishin HiTec Barricote®-paperi elintarvikkeiden pakkaamiseen	-	+ paperinkierrätys.	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	Dispersiöpäällysteen SUP-linjausta ei vielä ole, mutta mineraalipohjaisena todennäköisesti ei SUP materiaali.	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	?
Paperi pinnoitettuna biovahalla (Solenis TopScreen™)	-	+ paperinkierrätys.	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	Ei SUP Kosteussuojan suhde SUP vaatii keskustelua	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	?
Paperi pinnoitettu bioORMO-CER® muutaman mikronin paksualla lakkakerroksella	-	+, paperinkierrätys	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-, bio-hajoaa ei kaatopaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	Paperi ei SUP materiaali. Pinnoitteen status vaatii keskustelua	+, uudet kuitupohjaiset pakkaukset	-

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

PBS / PBSA / PBAT / PLA / PHA / tärkkelys seos kalvona - useita valmistajia ja tuotteita	-	-	+ / 0	-, bio-hajooa ei kaa- topaikalle	+	+	+	+, poltto ok biopohjainen	SUP	0	-
Paperi + metallifolio	0 (elintarvike- pakkaus)	+, metallinkierrätys + paperinkierrätys	+ / 0	0	+ paperi	+ paperi	+ paperi	+, paperi	Ei SUP	0	-
PLA-kalvo biaksiaalisesti orien- toituna (BO-PLA)	0 (elintarvike- pakkaus)	+ teoriassa ok. Ei kerätä erikseen tällä hetkellä	0	- biopohjainen, kier- rätys suositeltava	+	-	-	+, potto ok biopohjainen	SUP	+ voidaan suunnitella paremmin kiertäväksi	-

8.3. Rakentaminen / polystyreenivaahdosta valmistettu eristelevy

8.3.1. Polystyreenin ominaisuudet

EPS ja XPS ovat polystyreenivaahdosta valmistettuja lämmöneristeitä. Niiden koostumus on sama-, mutta valmistusmenetelmä ja suorituskyky on erilainen:

- EPS-vahto valmistetaan laajentamalla pallomaisia helmiä käyttäen lämpöä ja painetta helmien yhteen sulattamiseksi (paisutettu tuote).
- XPS-vaahdon valmistuksessa käytetään jatkuvaa puristusprosessia - valmistetaan suulakepuristettuna (tuloksena homogeeninen umpisoluinen poikittaisosa).

EPS:iä ja XPS:ää käytetään rakennusalalla lämmöneristeenä julkisivuissa, seinissä, katoissa, lattioissa, kevyenä täytemateriaalina teiden ja rautateiden rakentamisessa sekä routasuojana.

XPS eristeratkaisu on tarkoitettu vaativiin olosuhteisiin. XPS:n vahto on tasaisempaa, vaahdon ilmataskut ovat pienempiä ja se on tiheän solurakenteen ansiosta vettä läpäisemätön (suljettu solurakenne). Usein saatavana eri värisenä (vaaleanpunainen, sininen, vihreä).

Polystyreenieristeiden yleiset ominaisuudet:

- hyvät lämmöneristeominaisuudet, lambda-arvo 0,032–0,038 W/mK. Uusissa ratkaisuissa jopa 0,030–0,034 W/mK (lisäaineina käytetään grafiittia, alumiinia, hiiltä).
- erittäin kevyt, eristeen ominaispaino noin 15–40 kg/m³ (ilmaa saattaa olla jopa yli 95 %).
- hyvät kestävyysominaisuudet (kestää kosteutta, jäätymistä, kuormitusta). (Routaeristeen tapauksessa tärkeä sulatus-jäädytyskestävyys)
- kestää kosteutta (sisä- ja ulkokäyttöön, salaojissa johtaa vettä perustuksista ulospäin)
- kestää puristusvoimaa, (60–500 kPa).

Polystyreenin käyttökohde määrittää käytettävän polystyreenin laadun sekä tarvittavat suoritustaso-ominaisuudet. Lattioissa, seinissä ja katoissa, jossa on palosuojavaatimukset, käytetään itsestään sammuvaa polystyreenilajia ja tämä on merkitty tuoteluokituksen lopussa, tuotetunnuksella S. Tyypilliset EPS eristeen ovat:

- lattiakäytössä EPS 60S, EPS 100, EPS 200, EPS 250, EPS 300,
- seinissä EPS 60S, EPS 80S, EPS 100S
- katoissa EPS 60S, EPS 80S, EPS 100S ja
- routaristeissä EPS 120, EPS 200 ja EPS 300.

8.3.2. Polystyreenin käyttö ja mahdolliset korvaavat materiaalit eri rakennerratkaisuissa

Rakennuksissa polystyreeniä käytetään pääasiassa lämmöneristeenä. Eristeen käyttömäärä riippuu rakennuksen energiatehokkuuden määräyksistä.

Rakennuksen energiatehokkuuden määräystenmukaisuus osoitetaan rakennuksen E-luvun laskennan avulla. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennan avulla tarkistetaan, että vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuarvon suuruinen.

Rakennusosien lämmönläpäisykertoimilla ei ole lainkaan enimmäisarvoja, vaan määräyksessä esitetään vertailuarvot rakennetyypeille.

Asuinrakennuksille vaihtoehtoisena menetelmänä voidaan käyttää myös rakenteellisen energiatehokkuuden osoittamista, joka tehdään lämpöhäviölaskelmilla. Rakenteellisen energiatehokkuuden osoittamisessa rakenteiden lämmönläpäisyn vertailuarvot (U-arvot) ovat paremmat kuin tasauslaskennan osalta.

Tässä työssä vertailtiin perinteisiä EPS ja XPS eristeiden käytön ratkaisuja vaihtoehtoisin ratkaisuihin, joissa muovieristeen sijaan käytettiin vaihtoehtoista lämmöneristettä. Perinteinen ja vertailtava ratkaisu mitoitettiin lämpötekniisiltä toiminnoilta yhteismitallisiksi (koko rakenteen lämmönläpäisykerroin oli vakio, eristeen eristyskyvyn (λ arvon) avulla laskettiin tarvittava eristyskerroksen paksuus ja määrä).

Seuraavissa taulukoissa (Taulukot 9, 10 ja 11) on esitetty esimerkin omaisesti rakennetyyppejä (RTS:n RT kortisto), joissa on käytetty polystyreenieristeitä (EPS ja XPS) sekä myös vaihtoehtoisia ratkaisuja. RT korteissa esitetyt rakennetyypit soveltuvat käytettäväksi tavanomaisissa olosuhteissa. Suunnittelijan tulee kuitenkin aina tarkistaa rakennetyypileikkauksen soveltuvuus kyseisen kohteen toimivuusvaatimusten mukaan. Esimerkiksi erityisen vaativissa olosuhteissa rakenteisiin saattaa kohdistua sellaisia rasituksia, jotka vaativat rakenteilta poikkeavia ominaisuuksia.

Tutkimuksen rajaukset:

Laskenta perustuu teoreettiseen tarkasteluun, jossa vaihtoehtoisten ratkaisujen osalta vertailtavana ominaisuutena oli vain lämmöneristyskyky. Jotta vertailuissa käytettyjä eristeitä voidaan ottaa ratkaisuihin käyttöön, tarvitaan vielä rakennusfysikaalisia kokeita ja näyttöä myös muiden ominaisuuksien vastaavuuden osalta.

Mahdolliset korvaavat materiaalit:

Tarkastelemme taulukoissa kevytsoran, mineraalivillan, ekovillan, vaahtolasin ja vaahtorainatun puukuitueristeen (Basajaun) mahdollisuuksia toimia vaihtoehtoisina materiaaleina eri käyttökohteissa. Näistä viidestä materiaalista neljä ensimmäistä ovat markkinoilla olevia materiaaleja. Puukuitueristeellä (Basajaun) tässä raportissa viitataan ei vielä kaupallistettuun VTT:n kehittämään vaahtorainattuun puukuitueristeeseen. Se on puolijäykkä ja huokoinen eristemateriaali, jonka tiheyttä ja paksuutta voidaan säätää. Puuraaka-aine voi olla esimerkiksi sahanpuru, joka kuidutetaan ennen vaahtotusprosessia. Vaahtotuksessa puukuidun, veden ja vaahtotuskemikaalin seosta sekoitetaan voimakkaasti, jolloin saadaan muodostettua kuituvaahtoa. Tämä puukuitueriste ei sisällä muovimateriaalia. Vaahtorainatun puukuitueristeen lämmönjohtavuus on kilpailukykyinen mineraalivillan kanssa. Periaatteessa kyseinen puukuitueriste on kierrätettävissä kuitufraktiossa. Erotuksena muihin erilaisella prosessilla valmistettuihin puukuitulevyihin, kutsumme tätä eristettä nimellä Basajaun puukuitueriste, koska tätä VTT:n kehittämää teknologiaa on jatkotutkittu Basajaun-nimisessä EU-projektissa.

Koska vaahtorainattu puukuitueriste on vielä kehitysvaiheessa, tuotteen teknisiä ominaisuuksia ei ole julkisesti saatavana. Kuitenkin tuotteen ominaisuuksien kehitysvaiheen suuruusluokkarvot ovat olemassa ja ne on esitetty Pöhler et al. artikkelissa (Pöhler, 2017). Silloinen kehitystyö esittää tuloksia tuotteelle, jossa käytettiin erityyppisiä puupohjaisia raaka-aineita. Artikkelissa esitetyt tuoteominaisuudet, eivät kuitenkaan ole vielä lopullisia, sillä vuoden 2017 jälkeen tuotetta on kehitetty edelleen.

Pöhler et al. artikkelin mukaisen tuotteen kehitysvaiheen ominaisuudet ja havainnot ovat olleet seuraavat:

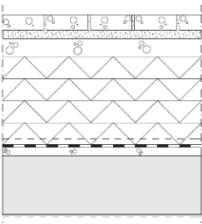
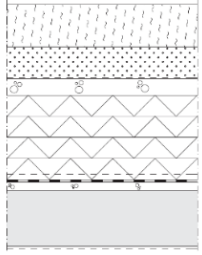
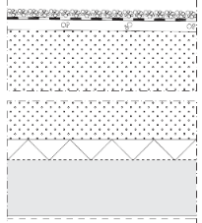
- Tuotteen koekappaleita pystyttiin valmistamaan tiheysluokissa 20–90 kg/m³ (EN 1602:2013),
- Mitattu lämmönjohtavuus (EN 12667, configuration b, 2001) tiheysluokassa 40–50 kg/m³ on ollut huonoimmillaan noin 0,037 W/mK ja parhaimmillaan noin 0,034 W/mK. Lämmönjohtavuuden osalta todettiin, että kun tuotteen tiheys kasvaa lämmönjohtavuus heikkenee.
- Tuotteen puristuslujuus (EN 826:2013) on 2–8 kPa ('stress at 10 % deformation') kun koekappaleitten tiheysluokka on ollut 40–50 kg/m³
- Koekappaleitten painuma (French norm NF DTU 20.1 P1-2, 2008) noin 40 mm kappaleilla on ollut 0–2 cm. Käyttämällä TMP-raaka-ainetta eristeen valmistuksessa painuma oli 0 cm.
- Ilmavirran vastus ('air flow resistivity') (ISO 9053 (1991) kasvoi tiheyden kasvaessaan ja oli paras melkein kaikissa tiheysluokissa, kun käytettiin TMP raaka-ainetta.

Alla olevat laskennat on tehty vaahtorainatulle puukuitulevyille, jonka tiheys on 40 kg/m³ ja lämmönjohtavuus 0,037 W/mK (EN 12667) Tämä lämmönjohtokyky ei ole vielä λ_{design} arvo, U-arvon heikentymisestä johtuvat korjauskertoimet eivät olleet tiedossa, koska tuote on edelleen kehitysvaiheessa. Seuraavassa LCA laskennassa voidaan tämä korjaus ottaa huomioon erillisellä varmuuskertoimella, kertomalla esimerkiksi mitattu λ -arvo kertoimella 1,2 (oletuksena että kattaa kaikki epävarmuustekijät)⁵⁵. Tämän mukaan uusi λ -arvo olisi 0,044 W/m²K (0,037 * 1,2 = 0,044 W/m²K). Toisaalta kehitystyön tuloksena on pystytty tuottamaan myös tuote, jonka λ -arvo on ollut 0,034 W/m²K (silloin varmuuskertoimen kanssa uusi λ -arvo olisi 0,041 W/m²K). Mihin tuotteen lämmöneristyskyky lopulta asettuu, nähdään vasta kun tuote on markkinoilla.

Lasketut tuotepainot ja alla olevat rakenneratkaisut eivät edustaa kirjoittajien suosituksia vaan ovat ainoastaan LCA laskentaa varten (jotta vertailua voidaan tehdä lämmöneristyskyvyn osalta tasavertaisina funktionaalisina yksikköinä). Eristeiden käyttömäärä on laskettu siten että eristerkerros tuottaa samaan lämpövastuksen (R-arvon) kun perusratkaisussa käytetty EPS ratkaisu (eristerkerroksen lämmönvastus on kerrospaksuuden ja lämmönjohtavuuden osamäärän käänteisluku). Silloin, kun vaihtoehtoinen ratkaisu vaatii paksumman lämmöneristerkerroksen, ja sillä on vaikutusta muihin käytettyihin materiaaleihin (esim. Termoranka), nämä materiaalipainot on otettu erikseen huomioon LCA:n laskennassa.

⁵⁵ Tässä on oletettu, että käytetty epävarmuustekijä kattaa kaikki tarvittavat korjauskertoimet U-arvon laskemiseksi. Uutta ohjetta korjauskertoimien käyttöön ei ollut vielä tämän tutkimuksen tekoaikana julkaistu (RakMk C4 on kumottu ja RIL:in Lämmönläpäisykertoimen laskentaohje on vielä työn alla).

Taulukko 9. Perusratkaisun ja vaihtoehtoisten rakenneratkaisujen ominaisuudet: Yläpohja (YP). Rakenneratkaisut: RT ohjerakenteet 'Yläpohjarakenteita' (RT 83-11010, 29.9.2010).

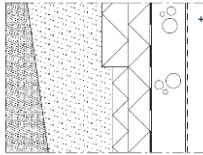
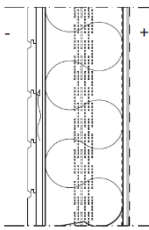
YP	Perusratkaisu	Perusratkaisun rakennekerrat	Perusratkaisun eristeen ominaisuudet	Vaihtoehtoisen eristeratkaisun ominaisuudet
Kevyesti liikennöity taso. Käännetty rakenne (YP 401)		<ul style="list-style-type: none"> - Betoni tai maakostea hiekka >40 mm - teräsbetonilaatta 80 mm - suodatinkangas - uritettu XPS 400 mm - vedeneriste - kallistusbetoni > 20 mm - kantava betonirakenne. 	<p>Lämmöneristeenä suulakepuristettu polystyreeni (XPS):</p> <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} 0,037 W/mK ja tiheys 35 kg/m³ - XPS:n käyttömäärä 14 kg/m² 	Käännetty rakenteet ovat vaativia lämmöneristeen käyttökohteita. Lämmönjohtavuuden lisäksi vaatimuksia on asetettu ainakin mittapysyvyydelle, lyhyt- sekä pitkäaikaiselle puristuslujuudelle, veden imeytyvyydelle ja jäädytys-sulatuskestävyydelle. Testituloksista saadaan kertoimet, joitten avulla lasketaan heikentynyt U arvo (suunnittelulämmönjohtavuus luku). Lämmöneristekyvyn osalta korvaavia tuotelaskentoja näille käännetuille rakenteille ei tehty, koska vaahtorainatusta puukuitupohjaisesta eristeen vastaava tietoa ei ollut saatavana.
Kantava betonirakenne, polystyreenieriste (käännetty rakenne, multatila) (YP 402)		<ul style="list-style-type: none"> - Maa esim. ruokamulta > 200 mm, - kevytsora > 150 mm, - betonilaatta 80 mm, - suodatinkangas, - XPS 400 mm, - vedeneriste VE80 (esim. bitumihuopa), - kallistusbetoni > 20 mm, - kantava betonirakenne. 	<p>Lämmöneristeenä suulakepuristettu polystyreeni (XPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} on 0,037 W/mK ja tiheys 35 kg/m³ - XPS:n käyttömäärä 14 kg/m² 	
Kantava betonirakenne (YP403)		<ul style="list-style-type: none"> - Suojakiveys > 30 mm - bitumikermikate (VE40) - teräsbetonilaatta > 40 mm - suodatinkangas - lämmöneristeenä kevytsora > 750 mm ja polystyreenieristettä (EPS) 100 mm - höyrynsulku - kantava betonirakenne - sisäkatto. 	<p>Yläpuolisena eristeenä kevytsora ja alapuolella EPS</p> <ul style="list-style-type: none"> - kevytsora (esim. Lecasora katto 4–20 mm) λ_{Design} 0,097 W/mk ja tiheys 265 kg/m³ - EPS:in λ_{Design} 0,031 W/mK ja tiheys 20 kg/m³ - EPS:n käyttömäärä 2,0 kg/m² (100 mm) ja kevytsoran käyttömäärä 199 kg/m² (750 mm) - eristyskerroksien R arvo on 10,96 Km²/W 	<p>VAIHTOEHTO 1</p> <p>Yläpuolisena eristeenä kevytsora ja alapuolella vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun):</p> <ul style="list-style-type: none"> - puukuitueristeen λ on 0,037 W/mK, tämä korjauskertoimen kanssa on 0,044 W/m²K) (sulussa esitetään laskenta ilman korjauskertoimen käyttöä) - tiheys 40 kg/m³, - vaahtorainatun puukuitueristeen käyttömäärä on 5,7 kg/m² (4,8 kg/m²) - eristekerroksen paksuus on 142 mm (kasvu EPS:in nähden on 42 mm) (tai ilman korjauskerrointa kerrospaksuus on 119 mm ja kasvu EPS:in nähden 19 mm) * - lisäksi tarvitaan kevytsoraa, saman verran kuin EPS ratkaisussa (199 kg/m²) - eristekerroksien R arvo on 10,96 Km²/W

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

				VAIHTOEHTO 2 - eristeenä vain kevytsora: - λ_{design} 0,097 W/mK ja tiheys 265 kg/m ³ - kevytsoran määrä 282 kg/m ² - eristeen kerrospaksuus kasvaa 213 mm ja eristettä tarvitaan yhteensä 1063 mm* - eristyksen R arvo on 10,96 Km ² /W
--	--	--	--	--

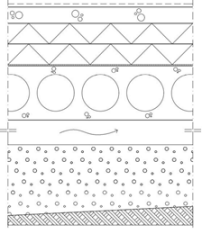
* vaihtoehtoiset ratkaisut kasvattavat rakennekerroksen paksuutta EPS:in nähden. Rakennekerroksen paksuuden kasvu voi olla voimakkaampi, jos tuotteiden eristystaso on huonompi, tai jos tuotteiden ominaispainot ovat isompia. Tässä oletuksena on, että vaihtoehtoisen eristeen kerrospaksuuden muutos ei vaikuta rakenteen toimivuuteen. Vertailtavana tässä vain eristyskyky LCA laskenta varten.

Taulukko 10. Perusratkaisun ja vaihtoehtoisten rakenneratkaisujen ominaisuudet: Ulkoseinät (US). Rakenneratkaisut: RT ohjerakenteet 'Ulkoseinä-rakenteita' (RT 82-11006, 29.9.2010)

US	Perusratkaisu	Perusratkaisun rakennekerrokset	Perusratkaisun eristeen ominaisuudet	Vaihtoehtoisen eristeratkaisun ominaisuudet
US 403 Kellarin teräsbetoniseinä (EPS:illa)		<ul style="list-style-type: none"> - Salaojituskerros > 300 mm - lämmöneriste 175–225 mm, jossa EPS (maanpinnan alapuolella 225 mm (0–1 m) ja muualla 175 mm - vedeneriste bitumiliuos ja bitumikermi - teräsbetoni, > 150 mm-tasoite ja seinäpinta. 	Eristeenä EPS: <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} on 0,037 W/mK ja tiheys 35 kg/m³ - kerrospaksuus maanpinnan alapuolella 225 mm ja käyttömäärä 7,9 kg/m² - kerrospaksuus muualla 175 mm ja käyttö 6,1 kg/m² - eristetason R-arvo maanpinnan alapuolella on yhteensä 10,81 Km²/W) 	VAIHTOEHTO 1 - maanpinnan alapuolella vaahtolasinen eristelevy (Foam-glass tyyppinen): <ul style="list-style-type: none"> - vaahtolasilevy λ_{Design} 0,038 W/m²K ja tiheys 100 kg/m³, - eristekerroksen paksuus maanpinnan alapuolella on 231 mm, kasvu EPS:in nähden 6 mm* - eristelevyn käyttömäärä on 23 kg/m² - eristetason R-arvo, maapinnan alapuolella, on yhteensä 10,81 Km²/W) - Vaahtolasieristelevy on pinnoitettu. Pinnoituksen määrä riippuu levyn paksuudesta, kohteesta, olosuhteista jne. Tässä oletettu, että käytetään primeria 0,3 l/m² ja kaksikomponenttista pinnoitetta (bitumi + sementti) noin 4 kg/m²
US 601 Teräsrunkoinen seinä, (termoranka)		<ul style="list-style-type: none"> - Ulkoverhous - tuuletusväli - tuulensuojalevy - kantava rakenne - lämmöneriste EPS - höyrysulku - rakennuslevy 	Eristeenä EPS: <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} 0,031 W/mK, ja tiheys 20 kg/m³ - kerrospaksuus 215 mm ja käyttömäärä 4,3 kg/m² - eristys R-arvo on 6,9 Km²/W) 	VAIHTOEHTO 1 – vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun): <ul style="list-style-type: none"> - puukuitueristeen λ on 0,037 W/mK, tämä korjauskertoimen kanssa on 0,044 W/m²K) (sulussa esitetään laskenta ilman korjauskertoimen käyttöä) - tiheys 40 kg/m³ - eristekerroksen paksuus on 305 mm, kasvu EPS nähden on 90 mm* (tai paksuus 257 mm ja kasvu EPS:in nähden 42 mm) -eristeen käyttömäärä on 12,2 kg/m² (tai 10,3 kg/m²) - eristekerroksen R-arvo on 6,9 Km²/W VAIHTOEHTO 2 - ekovillalevy: <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} 0,039 W/mK ja tiheys 40 kg/m³ - eristeen kerrospaksuus on 271 mm, kasvu EPS:in nähden 56 mm* - eristeen käyttömäärä 10,8 kg/m² - eristeen R-arvo on 6,9 Km²/W VAIHTOEHTO 3 - mineraalivilla: <ul style="list-style-type: none"> - λ_{Design} 0,036 W/mK ja tiheys 30 kg/m³ - eristeen kerrospaksuus on 250 mm, kasvu 35 mm EPS:in nähden - eristeen käyttömäärä 7,5 kg/m² - eristys R-arvo on 6,9 Km²/W

* vaihtoehtoiset ratkaisut kasvattavat rakennekerroksen paksuutta EPS:in nähden. Rakennekerroksen paksuuden kasvu voi olla voimakkaampi, jos tuotteiden eristystaso on huonompi, tai jos tuotteiden ominaispainot ovat isompia. Tässä oletuksena on, että vaihtoehtoisen eristeen kerrospaksuuden muutos ei vaikuta rakenteen toimivuuteen. Vertailtavana tässä vain eristyskyky LCA laskenta varten.

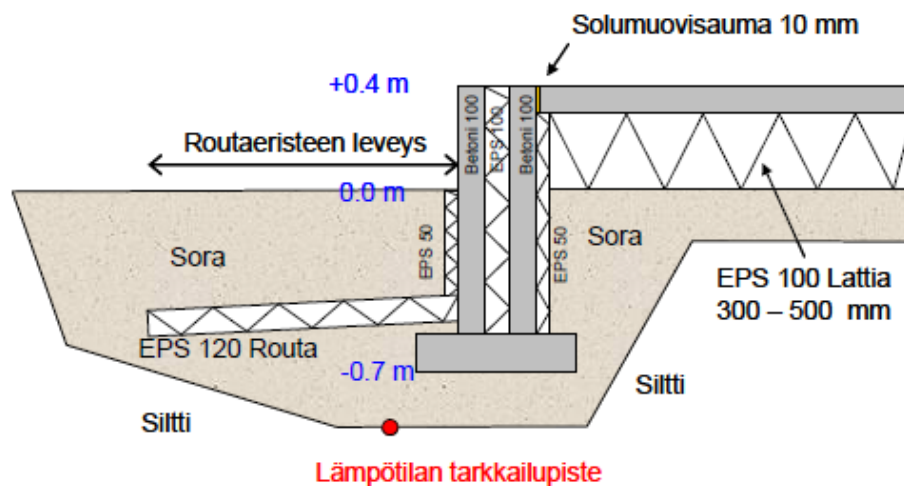
Taulukko 11. Perusratkaisun ja vaihtoehtoisten rakenneratkaisujen ominaisuudet: Alapohjaratkaisut (AP). Rakenneratkaisu: RT ohjerakenne 'Alapohjarakenteita' (RT 83-11009, 29.9.2010).

Alapohja	Perusratkaisu	Perusratkaisun rakennekerrokset	Perusratkaisun eristeen ominaisuudet	Vaihtoehtoisen eristeratkaisun ominaisuudet
Tuuletettu alapohja (AP409)		Eristelaatan päällä lattiapäällystyseriste ja pintakäsittely - teräsbetoni-laatta > 80 mm, - lämmöneriste, polystyreeni 220 mm - ontelolaatta - ryömintätila > 800 mm - salaojituserkerros > 300 mm - suodatinkangas (N2) - perus tai täyttömaa	EPS eriste (laatan päällä): - λ_{Design} 0,039 W/mK ja tiheys 20 kg/m ³ , - käyttömäärä 4,4 kg/m ² (R-arvo on 5,64 Km ² /W)	VAIHTOEHTO 1 – vaahtorainattu puukuitueriste (käyttö vain laatan päällä) (Basajaun): - puukuitueristeen λ on 0,037 W/mK, tämä korjauskertoimen kanssa on 0,044 W/m ² K) (suluissa esitetään laskenta ilman korjauskertoimen käyttöä) - -tiheys 40 kg/m ³ - eristekerroksen paksuus 248 mm (tai 209 mm), kerrospaksuus kasvaa 28 mm EPS:in nähden (tai eristekerros on pienempi 11 mm EPS:in nähden), - käyttömäärää on 9,9 kg/m ² (tai 8,4 kg/m ²) - eristeen R-arvo on 5,64 Km ² /W

* vaihtoehtoiset ratkaisut kasvattavat rakennekerroksen paksuutta EPS:in nähden. Rakennekerroksen paksuuden kasvu voi olla voimakkaampi, jos tuotteiden eristystaso on huonompi, tai jos tuotteiden ominaispainot ovat isompia. Tässä oletuksena on, että vaihtoehtoisen eristeen kerrospaksuuden muutos ei vaikuta rakenteen toimivuuteen. Vertailtavana tässä vain eristyskyky LCA laskenta varten.

8.3.3. Polystyreenin käyttö routasuojauksena

Routasuojauksen tarkoituksena on pitää talvikaudella alla oleva maa sulana. Rakennusten energiatehokkuuden parantuksessa rakennuksen alla olevan maanpohjan lämpötila laskee. Tämä lisää perustusten routasuojauksen tarvetta (Heikkinen, J. & Airaksinen, M. 2011).



Kuva 7. Rakennuksen routasuojaus maanvaraisen alapohjarakenteen osalta (Heikkinen, J. & Airaksinen, M. 2011).

Omakotitalon routasuojauksen esimerkki osoittaa, että eri rakennuskohteen alueilla routasuojauksessa käytetään erityyppisiä EPS-levyjä. Esimerkiksi ajotiellä käytetään EPS 200 routalevyä, kun siihen tarvitaan parempaa lujuuden kestävyyttä, sen sijaan maanvaraisen betonilaatan alla riittää EPS 100.

Routaeristeen paksuuteen vaikuttaa myös rakennuksen sijainti. Etelä-Suomessa maaperän pakkastuntimäärä on parhaimmillaan 25 000 kh (kh = pakkastunti), kun Pohjois-Suomessa tämä voi olla jopa 65 000 kh. Seuraavissa taulukoissa (Taulukot 12–14) esitetään routasuojausmäärät, kun pakkastuntimäärä on 37000 kh⁵⁶ ja routasuojauksena käytetään EPS 120 eristettä (tulokset esitetään eri lattiaeristeen paksuudelle ja eristeen määrille, nämä erikseen seinä- ja nurkka-alueella).

Tuloksista nähdään, että routasuojauksen käyttömäärä vaihtelee paljon, riippuen käyttökohteesta ja lattiaeristystasosta. Esimerkiksi Helsingissä, rakennuksen seinäalueella eristystä tarvitaan 1,3 kg/seinä-m, kun vastaava luku Rovaniemen alueella on jopa 2,5 x enemmän (3,3 kg/seinä-m). Rakennusten nurkka-alueilla paikkakuntakohtainen eristystason ero on vieläkin enemmän (kun esimerkiksi lattiaeristys on 400 mm ja rakennuksen sijainti on Helsinki, nurkka-alueelle tarvitaan routaeristystä 2,3 kg/seinä-m, vastaava luku Rovaniemessä on 3,5 x enemmän (11,4 kg/seinä-m)).

⁵⁶ ([Routaeristys \(eps-eriste.fi\)](http://eps-eriste.fi))

Taulukko 12. Lattiaeristeen paksuuden vaikutus routasuojuukseen (EPS määrään) kun rakennuksen sijainti on Helsinki (viite. ([Routaeristys \(eps-eriste.fi\)](http://Routaeristys(eps-eriste.fi))))

Helsinki	Lattiaeristeen paksuus 200 mm	Lattiaeristeen paksuus 300 mm	Lattiaeristeen paksuus 400 mm
EPS 100 Lattia	4 kg/seinä-m	6 kg/seinä-m	8 kg/seinä-m
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys seinäalueella sekä käyttömäärä	50 mm / 1,2 m 1,3 kg/seinä-m	50 mm / 1,4 m 1,5 kg/seinä-m	50 mm / 1,5 m 1,7 kg/seinä-m
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys nurkka-alueella sekä käyttömäärä	100 mm / 1,2 m 2,6 kg/seinä-m	100 mm / 1,4 m 3,1 kg/seinä-m	100 mm / 1,5 m 3,3 kg/seinä-m

Taulukko 13. Lattiaeristeen paksuuden vaikutus routasuojuukseen (EPS määrään) kun rakennuksen sijainti on Jyväskylä (Routaeristys (eps-eriste.fi))

Jyväskylä	Lattiaeristeen paksuus 200 mm	Lattiaeristeen paksuus 300 mm	Lattiaeristeen paksuus 400 mm
EPS 100 Lattia	4 kg/seinä-m	6 kg/seinä-m	8 kg/seinä-m
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys seinäalueella sekä käyttömäärä	100 mm / 1,2 m 2,6 kg/seinä-m	100 mm / 1,4 m 3,1 kg/seinä-m	100 mm / 1,5 m 3,3 kg/seinä-m
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys nurkka-alueella sekä käyttömäärä	200 mm / 1,2 m 5,3 kg/seinä-m	200 mm / 1,4 m 6,2 kg/seinä-m	200 mm / 1,5 m 6,6 kg/seinä-m

Taulukko 14. Lattiaeristeen paksuuden vaikutus routasuojuukseen (EPS määrään) kun rakennuksen sijainti on Rovaniemi (Routaeristys (eps-eriste.fi))

Rovaniemi	Lattiaeristeen paksuus 200 mm	Lattiaeristeen paksuus 300 mm	Lattiaeristeen paksuus 400 mm
EPS 100 Lattia	4 kg/m-seinä	6 kg/m-metri seinä	8 kg/m-seinä
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys seinäalueella sekä käyttömäärä	100 mm / 1,5 m 3,3 kg/seinä-m	120 mm / 1,7 m 3,7 kg/seinä-m	130 mm / 2,0 m 4,4 kg/seinä-m
routaeristeen (EPS 120) paksuus ja leveys nurkka-alueella sekä käyttömäärä	200 mm / 1,5 m 6,6 kg/seinä-m	240 mm / 1,7 m 9,2 kg/seinä-m	260 mm / 2,0 m 11,4 kg/seinä-m

Vaahtolasi ja kevytsora ovat käytössä infrarakentamisessa eriste- ja kevennysmateriaaleina. Alla olevassa vertailussa EPS eristeen rinnalla on käytetty vaihtoehtoisena routaeristeenä maanrakennuksessa käytettyä kevytsoraa (esim. Leca-sora 4–32 mm kaltaista tuotetta) ja vaahtolasilimurskettä (esim. Foamit kaltaista tuotetta). Kevytsoran tiheytenä laskennassa on käytetty 300 kg/m³ ja lämmönjohtavuusarvoa 0,15 W/m²K (tuotteen vesipitoisuus on 30 paino-%). Vaahtolasin osalta tiheytenä on käytetty 225 kg/m³ ja lämmönjohtavuusarvona 0,15 W/m²K (tuotteen vesipitoisuus on 30 paino-%).

Taulukko 15 esittää materiaalien painot LCA laskentaa varten, kun piharakenteen routaeristeenä käytetään EPS 120 eristettä. Vaihtoehtoiset ratkaisut ovat kevytsoralla tai vaahtolasimurskeella eristetty rakenne. Eristeiden käyttömäärä on laskettu siten, että eristekerros tuottaa saman lämpövastuksen (R-arvon) kuin perusratkaisussa käytetty EPS. Vaahtolasin ja kevytsoran toiminnallisuus todellisessa käyttökohteessa täytyy kuitenkin varmistaa erikseen.

Taulukko 15. Piharakenteessa käytetyn routaeristerakenteen esimerkki.

	Perusratkaisun rakennekerrokset	Perusratkaisun ominaisuudet	Vaihtoehtoisen ratkaisun ominaisuudet
Pihatien routaeriste	<ul style="list-style-type: none"> - Päälyste - tukikerros (murske 300–500 mm) - EPS 120 Routa - kuivatuskerros (sora tai murske yli 200 mm - pohjamaa 	Eristeenä EPS 120 Routa: - λ arvo 0,036 W/mK ja tiheys 22 kg/m ³ - kerrospaksuus 100 mm - eristeen käyttömäärä 2,2 kg/m ² - eristyksen R-arvo on 2,78 Km ² /W	VAIHTOEHTO 1 – kevytsoraeriste: - λ 0,15 W/mK (vesipitoisuus 30 paino-%) ja tiheys 300 kg/m ³ , - kerrospaksuus on 417 mm (kerrospaksuuden kasvu EPS 120 nähden on 317 mm) - kevytsoran käyttömäärä on 125 kg/m ² - eristyksen R-arvo on 2,78 Km ² /W VAIHTOEHTO 2 – vaahtolasimurske - λ 0,15 W/m ² K (vesipitoisuus 30 paino-%) ja tiheys 225 kg/m ³ , - eristeen kerrospaksuus on 417 mm (kerrospaksuuden kasvu EPS 120 nähden on samaa kuin kevytsoratapauksessa, 317 mm) - Vaahtolasimurskeen käyttömäärä on 93,8 kg/m ² - eristyksen R-arvo on 2,78 Km ² /W

8.3.4. Polystyreenin käytöstä poisto

Rakentamisessa käytetyt polystyreenilevyt eivät kuulu tuottajavastuun alaisuuteen. EPS-muovin keräyksestä vastaa Suomen Uusiomuovi Oy.CircHubs:in selvityksen mukaan⁵⁷ alueellista tai valtakunnallista tietoa EPS-muovin kokonaismäärästä ei ole. Tällä hetkellä ei ole käytössä erilliskeräystä ja kattavaa hyödyntämisjärjestelmää. Materiaalia kulkeutuu kuntavastuun alaiseen seka- ja polttokelpoiseen jätteeseen, muovinpakkauksien mukana tuottajavastuun alaisille toimijoille sekä yritysten jätteitä vastaanottaville yritysille.

Sekä EPS että XPS eristeiden ympäristöselosteissa⁵⁸ ilmoitetaan materiaalin käytöstä poiston menetelmäksi energiahyödyntäminen suhteessa 1 kg/kg. EPS muovin kierrätettävyyttä on kehitetty onnistuneesti moottoritierakentamisesta meluvalleihin⁵⁹

8.3.5. Rakentamisen vaihtoehtoisten ratkaisujen saatavuus riittävyys ja hinta

Rakentamisen vaihtoehtoisten ratkaisujen materiaalien saatavuutta, riittävyttä ja hintaa on tarkasteltu Taulukossa 16.

⁵⁷ <https://circhubs.fi/tietopankki/eps-muovi/>

⁵⁸ https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/finnfoam-lmmneriste-xps_epd_bionovaoy_19-1-2017-allekirjoitettu-1.pdf https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/ff-eps_epd_bionovaoy_19-1-2017-allekirjoitettu-1.pdf

⁵⁹ <https://eps-eriste.com/64-eps-keventeiden-uudelleenkaeyttoa-tierakenteesta-meluvalliin>

Taulukko 16. Rakentamisen vaihtoehtoisten ratkaisujen materiaalien saatavuus, riittävyys ja hinta

	Betonirakenne	Perinteinen ratkaisu	Vaihtoehtoinen ratkaisu	Raaka-aine	Kommentit	Saatavuus, riittävyys ja hinta
Yläpohja	kantava (YP 403)	EPS: 2 kg/m ² & kevytsora: 199 kg/m ²	VAIHTOEHTO 1: vaahtorainattu puukuitueriste 5,7 kg/m ² & kevytsora 199 kg/m ²)	EPS: öljy/maakaasu -> polystyreeni, pentaani + pinnoitusaineet	Lecasora valmistetaan Kuusankoskella (Saint-Gobain)	Vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun), Ei markkinoilla ennen vuotta 2023. Hinta voinee olla korkeintaan +20 % nykyisten tuotteiden hintoihin verrattuna.
			VAIHTOEHTO 2: vain kevytsora 282 kg/m ²)	Kevytsora/Lecasora: kotimainen savi	Lecasoran eristepaksuus keskimäärin 1063 mm	Lecasoran hinta riippuu raekoosta. Yläpohjaan sopiva Leca KS820, 1000 l, 333 kg, raekoko 8–20 mm, 179 €. Puhalluskulut päälle. Saatavuus hyvä.
Ulkoseinä 1 (kellari)	US 403	XPS/EPS: 7,9 / 6,1 kg/m ²	Vaahtolasi maanpinnan alapuolella (23,1 kg/m ²)	Käytetään Foamglass kaltaista eristelevyä	Tuotteena Foamglass eristelevy	
Ulkoseinä 2	US 601	EPS: 4,3 kg/m ²	VAIHTOEHTO 1: vaahtorainattu puukuitueriste (12,2 kg/m ²)	Basajaun, ks. yllä		Vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun), ks. yllä
			VAIHTOEHTO2: ekovillalevy (10,8 kg/m ²) VAIHTOEHTO 3: mineraalivilla (7,5 kg/m ²)	Ekovilla: Ekovilla valmistetaan kotimaassa, pääosin kierrätetyistä puukuidusta esimerkiksi kierrätetyistä sanomalehdistä. Lisäksi palonestoaineet (booriyhdiste). Lasivilla: yl. kierrätyslasi (toisinaan myös kvartsihiekkä, sooda & kalkkikivi) Sideaineet? Kivivilla/vuorivilla: emäksiset kivilajit Kivivilla eli vuorivilla valmistetaan pääasiassa emäksisistä kivilajeista.	https://ekovilla.com/tuotteet/ekovillalevy/ Lasivillaa valmistavat Suomessa muun muassa Saint-Gobain Isover Oy sekä Eko-Expert Oy. Kivivillaa valmistavat Suomessa muun muassa Paroc Group -konserniin kuuluva Paroc Oy sekä Rockwool Oy.	Ekovillalevy (100x564x870mm) 11,02 €/m ² . Ekovillalevy (50x565x870mm) 6,04 €/m ² . Saatavuus hyvä. Kivivillalevy PAROC eXtra 66 610x1170 7,43€/m ² . Saatavuus hyvä. Lasivilla ISOVER Premium 33, 150x560x870mm, 13,30 €/m ² . Saatavuus hyvä.
Alapohja		EPS: 4,4 kg/m ²	Vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun): 9,9 kg/m ²)	Basajaun, ks. yllä.	Basajaun mahdollinen vain ylemmissä kerroksissa (laatan päällä, ei maakosketusta)	Vaahtorainattu puukuitueriste (Basajaun), ks. yllä.
Routasuojaus		EPS: 2,2 kg/m ²	VAIHTOEHTO 1: Kevytso-raeriste 125 kg/m ² VAIHTOEHTO 2: Vaahtolasimurske 94 kg/m ²	Kevytsora/Lecasora: kotimainen savi	Kuten edellä.	Routaeristeeksi sopiva Leca-sora KAP 4–20 mm, 1000 l, 143,90 €. Saatavuus hyvä. Foamit 20 m ³ 179–265 €. Saatavuus hyvä.

8.3.6. LCA-tulokset: rakentaminen

Eri rakentamisratkaisujen materiaalien valmistuksen ("Eriste" = päästöt siihen mennessä, kun tuote lähtee tehtaan portilta) ja käytöstä poiston ilmastovaikutukset esitetään kuvissa 8–11. Laskelmissa on huomioitu vain vaihdettavien materiaalien ja vaihdon vaikutukset muihin rakenteeseen kuuluvien materiaalien määriin. Joissain tapauksissa valmistuksen päästöjen vaihteluväli on sisällytetty tarkasteluun ("Eriste, (yläraja)"). Tähän vaihteluun vaikuttavat mm. erilaiset ratkaisut materiaalien määrissä ja tuotantotavoissa. Eristemateriaalien elinkaaren ulkopuolisia hyötyjä käytöstä poiston energiakäytöstä ei ole mallinnettu, sillä tulevaisuudessa käyttöön otettavia korvattavia energiaratkaisuja ei tunneta. Vastaavasti käytöstä poiston polttoskenarioita (ks. alaviite 59) voi pitää vain purkujätteen käsittelyn nykyisenä vaihtoehtona.

EPS eristeen, kevytsoran, vaahtolasin, mineraalivilla ja selluloosalevyn ilmastovaikutukset perustuvat Rakentamisen päästötietokannan tyyppisiin arvoihin. Vaahtolasilevyn ilmastovaikutus on saatu ecoinvent v3.8 tietokannasta. Basajaun eristelevylle ilmastovaikutukset on laskettu kahdella eri sähköntuotannon profiililla, 115 ja 500 g CO₂ ekv./kWh. Turvelevy- ja kutteripueristeen ilmastovaikutukset on saatu PaBiRa hankkeen tuloksista. US601 muutokset rangan syvyydessä on laskettu teräsprofiilin ympäristöselosteen muuntotaulukoiden ja Rakentamisen päästötietokannan perusteella. Käyttömäärät on laskettu Taulukoiden 9–11 ja 15 mukaisesti varmuuskertoimella huomioituna.

Kuvista nähdään, että yleisesti biopohjaisilla eristeratkaisuilla on pienempi elinkaarinen ilmastovaikutus kuin fossiiliseen muoviin (XPS, EPS) perustuvilla ratkaisuilla. Tämä tosin sillä varauksella, että vaahtorainatun Basajaun levyn valmistuksessa käytettävä sähkö hankitaan matalan hiili-intensiteetin verkosta, kuten Suomesta. EPS levyn merkittävin yksittäinen vaikutus syntyy voimassa olevien ympäristöselosteiden mukaisesti lasketusta käytöstä poiston fossiilisesta CO₂ päästöstä. Ei-fossiilisista ratkaisuista kevytsoraan perustuvat ratkaisut ovat myös suuripäästöisiä, mikä johtuu korkeista valmistuksen päästöistä, ja siitä, että kevytsoraa tarvitaan suhteellisen suuria määriä vaadittavan toiminnallisuuden saavuttamiseksi.

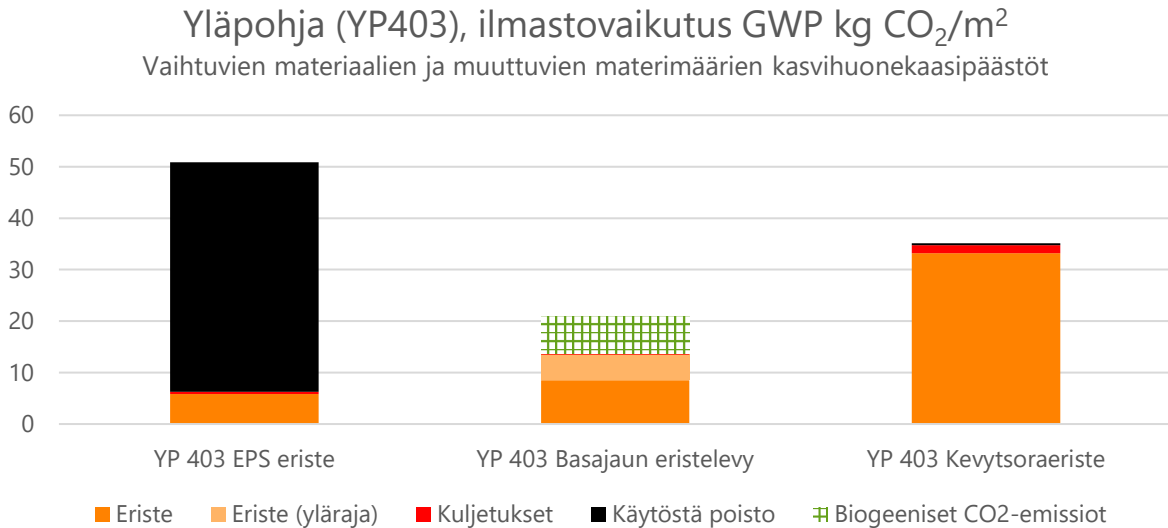
Basajaun levy on vielä tuotekehityksessä. LCA laskenta on tehty sillä oletuksella, että Taulukoissa 9–11 lasketut materiaalimäärät ovat varmuuskertoimella korotettuna riittävät.

Kuvassa 9 on esitetty tässä hankkeessa tarkasteltujen ratkaisujen lisäksi myös eräitä muita biopohjaisia ratkaisuja (kutterinlastu, turvelevy) joiden ilmastovaikutuksia on tarkasteltu "Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit" hankkeessa (PaiBiRa). Näiden ratkaisujen toiminnallisuutta ei ole määritetty samalla tavalla kuin tässä hankkeessa tarkasteltujen ratkaisujen, joten niiden tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. Näistä ratkaisuista kutterinlastun pienet ilmastovaikutukset johtuvat siitä, että tämä tuote on katsottu sivuvirraksi, jolle valmistuksen päästöjä ei ole allokoitu. Turvelevyn korkeat päästöt johtuvat taas siitä, että turve on luokiteltu fossiiliseksi materiaaliksi, ja poltossa vapautuva CO₂ fossiiliseksi päästökseksi.

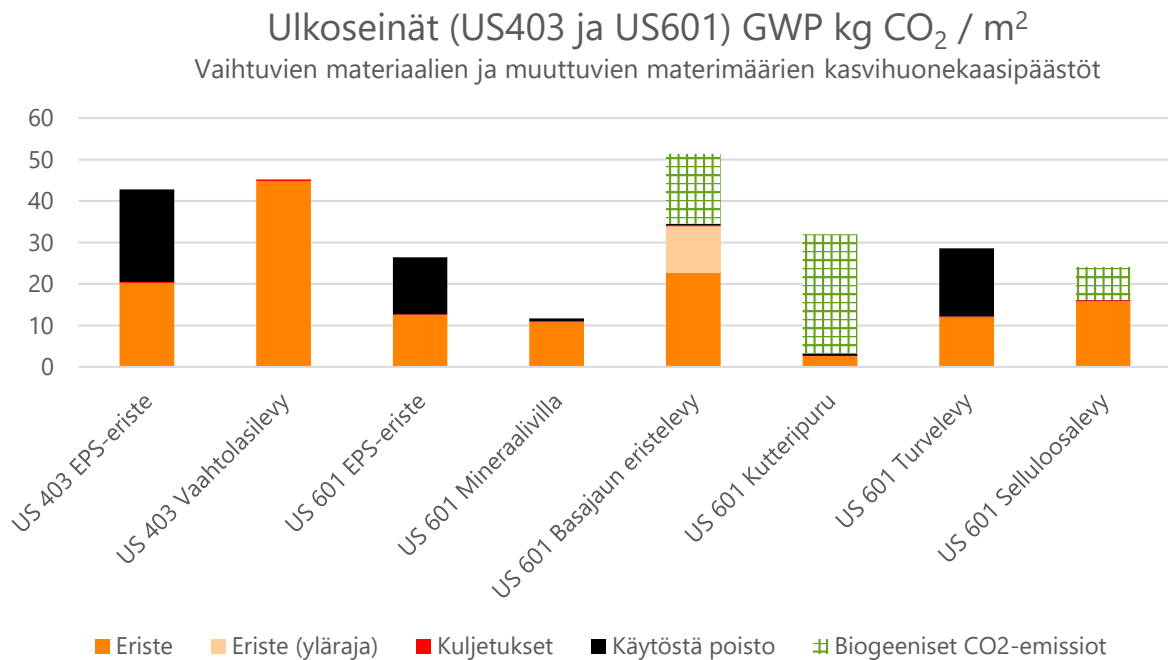
Ulkoseinässä US 601 käytetty teräsprofiili lisää rakenteen muutoksesta johtuvia päästöjä 1–4,5 kg CO₂ ekv. /m². Muutos on suurin vaahtorainatulla Basajaun levyllä, noin 20 % eristeen valmistuksen päästöistä. Jos rakenteena olisi puuranka, laskennallinen päästö kasvaa 0,06–0,29 kg CO₂ ekv. /m² eristemateriaalista riippuen.

Routasuojauksella ei ole käytännössä olemassa uusiutuviin materiaaleihin perustuvaa ratkaisua. EPS rakenne on selkeästi ilmastovaikutuksiltaan paras ratkaisu verrattuna kevytsoraan tai vaahtolasimurskeeseen.

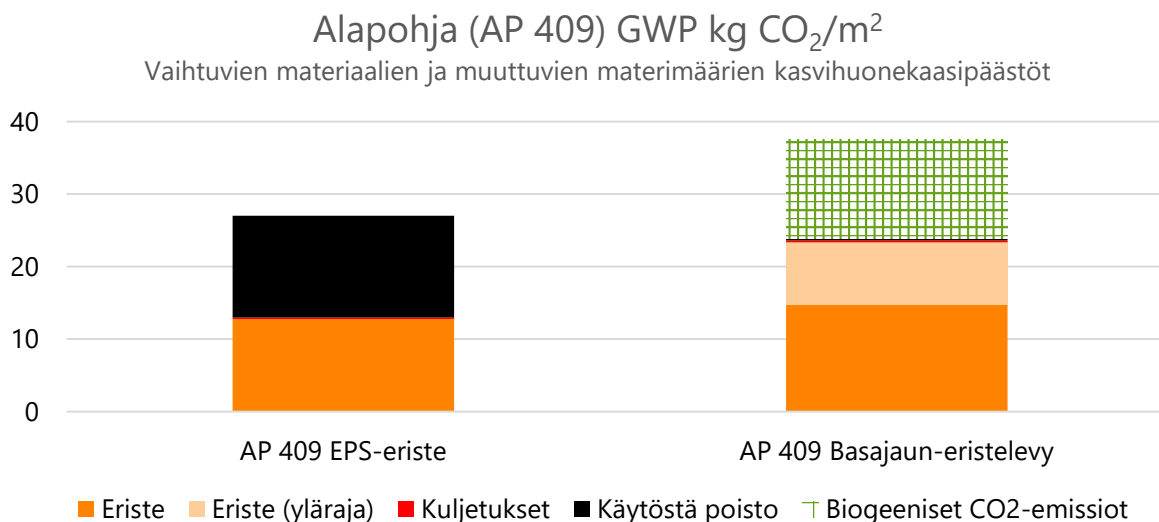
Laskennassa mukana olevien biogeenisten CO₂ päästöjen vaikutusta ei huomioida kokonaispäästöjen laskennassa. Nämä voidaan PAS2050:2011 ja PEF –ohjeistusten mukaan tulkita hiilen sidonnaksi, eli negatiivisiksi päästöiksi vain, jos tuotteen käyttöikä on yli 100 vuotta; edellyttäen että tuotteen raaka-aineiden hankinnassa ei aiheudu tätä suurempia maankäytön muutoksista johtuvia päästöjä.



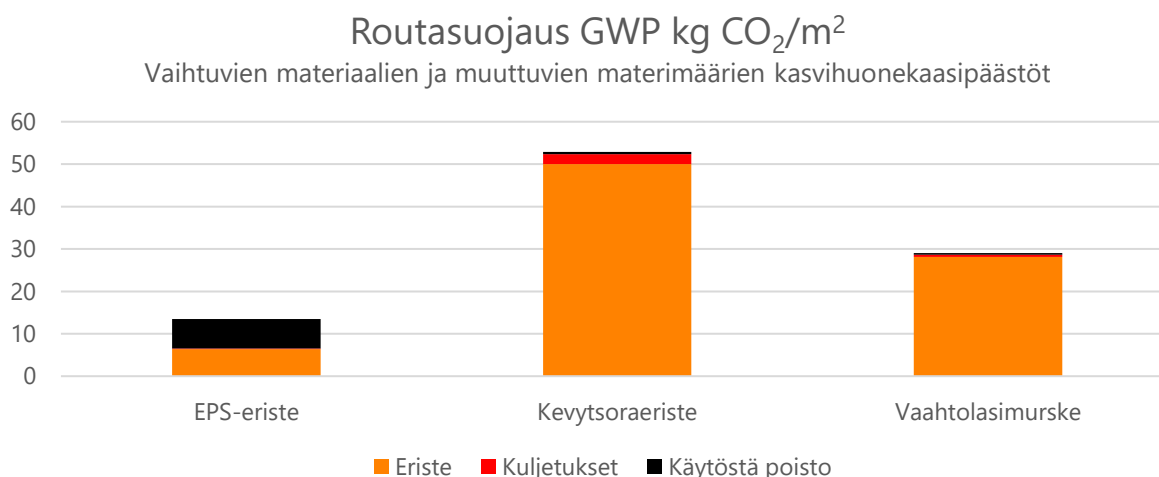
Kuva 8. Yläpohjan YP 403 eristeratkaisujen ilmastovaikutukset, kg CO₂ ekv. /m² eristettä. Ratkaisujen elinkaarinen vertailu edellyttää samaa suoritustasoa myös rakenteen käyttövaiheen aikana.



Kuva 9. Ulkoseinien US 403 (maakosketus) ja US 601 (teräsrunkoinen termoranka) eristeratkaisujen ilmastovaikutukset, kg CO₂ ekv. /m² eristettä. Ratkaisujen elinkaarinen vertailu edellyttää samaa suoritustasoa myös rakenteen käyttövaiheen aikana.



Kuva 10. Alapohjan AP 409 eristeratkaisujen ilmastovaikutukset, kg CO₂ ekv. /m² eristettä. Ratkaisujen elinkaarinen vertailu edellyttää samaa suoritustasoa myös rakenteen käyttövaiheen aikana.



Kuva 11. Routasuojausratkaisujen ilmastovaikutukset, kg CO₂ ekv. /m² eristettä. Ratkaisujen elinkaarinen vertailu edellyttää samaa suoritustasoa myös rakenteen käyttövaiheen aikana.

8.3.7. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien eristelevyjen ominaisuuksista

EPS ja XPS ovat polystyreenivaahdosta valmistettuja lämmöneristeitä. Niiden koostumus ja raaka-aineet ovat samoja, mutta valmistusmenetelmä ja suorituskyky ovat erilaisia.

Vaahdotettua polystyreeniä käytetään rakentamisessa lämmöneristeenä, ääneneristeenä ja routasuojauksena. Polystyreeniperusteisia eristeitä valmistetaan käyttökohteen mukaan: käyttökohde, kuten seinä-, lattia-, katto- ja routaeristäminen, määrittää eristeen tekniset vaatimukset. Lämmöneristykseen lisäksi eristeeltä voidaan vaatia myös hyvää puristus- tai taivutuslujuutta, keveyttä, kosteus- ja kuormituskestävyyttä sekä sulatus- ja jäädytyskestävyyttä. Tuotteiden ominaisuuksissa on myös valmistajakohtaisia eroja.

Rakennustuotteiden vertailu voidaan toteuttaa vain käyttämällä ratkaisuisia oikeita eristetyyppejä ja samoja toiminnallisia ominaisuuksia. Tässä työssä vertailut on tehty rakennetyypeittäin, ja ominaisuutena on ollut rakenneratkaisuisia samaa lämmöneristekyky (rakenteen U-arvo).

Yläpohjaratkaisussa YP 403 polystyreenivaahtoeristeen vaihtoehtoina käytettiin joko vaahtorainattua puukuitueristettä (Basajaun) tai sitten kevytsoraa. Puukuitueristeen ominaispaino oli suurempi kuin polystyreenieristevaahdon, ja yläpohjan U-arvon olleessa sama puukuitueristettä joudutaan käyttämään enemmän. Yläpohjan eristys vain kevytsoralla kasvatti yläpohjarakenteen kerrospaksuutta vielä enemmän, ja lopulta pelkän kevytsorakerroksen paksuus oli yli 1 metri. Tällaista ratkaisua voidaan käyttää, jos rakentamisen korkeudelle ei ole asetettuja raja-arvoja.

Seinien osalta vaihtoehtoiset eristeratkaisut kasvattivat rakennekerroksen paksuutta (vaahtorainattu puukuitueriste, ekovillalevy ja mineraalivillaeriste) verrattuna polystyreenieristeen käyttöön (seinien lämmöneristyskyky oli vakio, U-arvo = 0,17 W/m²K). Kun käytetään paksumpia rakennekerroksia, sillä on vaikutusta rakennuksen pohjapinta-alaan. Kun seinäpaksuutta kasvatetaan rakennuksen ulkopuolelle, silloin siinä ei ole vaikutusta asuin-pinta-alaan, mutta jos rakennuksen pohja-pinta-ala on määritetty, sitten rakenteen paksuuden kasvu sisäpuolelle vähentää sisätilojen pinta-alaa.

Routasuojauksen käyttökohde sekä paikkakunta määrittää mitä eristetyyppejä pitää käyttää. Vaihtoehdot polystyreenivaahdon käytölle ovat kevytsoraa tai vaahtolasimurske. Routaeristykseen käyttömäärään vaikuttaa alapohjan eristystaso. Esimerkiksi Helsingin alueella routaeristeen (EPS 120) käyttömäärä on 1,3–1,7 kg/seinä-m, mutta Rovaniemen alueella tarvittava eristeen määrä on 3,3–4,4 kg/seinä-m.

Pihatien routaeristeen laskentatapaus osoittaa, että kevytsoraeristeen tai vaahtolasimurskeen käyttö lisää polystyreenieristeen käytön nähden eristekerroksen paksuutta. Routaeristekerroksen paksuuden kasvulla ei ole samanlaista vaikutusta kuin talonrakentamisessa. Molemmissa vaihtoehtoisissa - kevytsora ja vaahtolasi - materiaalien käyttömäärät ovat paljon isommat, koska tuotteiden tilavuuspainot ja eristyskyvyt ovat hyvin erilaiset kuin polystyreenillä.

Polystyreenieriste on hyvä ratkaisu talon eristämiseen sekä routasuojaukseen. Ennen korvaavien tuotteiden käyttöönottoa täytyy varmistaa niiden soveltuvuus käyttökohteeseen. Täytyy varmistaa, että vaihtoehtoinen tuote täyttää kaikki muut kohteessa vaadittavat ominaisuudet kuin vain lämmöneristyskyvyn.

Yleisesti biopohjaisilla eristeratkaisuilla on pienempi ilmastovaikutus kuin fossiiliseen muoviin (XPS, EPS) perustuvilla ratkaisuilla. Tässä merkittävin yksittäinen tekijä on käytöstä poiston päästöt ja niiden yhteydessä vapautuva fossiilinen CO₂. Ei-fossiilisista ratkaisuisista kevytsoraan perustuvat ratkaisut ovat myös suuripäästöisiä, mikä johtuu korkeista valmistuksen päästöistä, ja siitä, että kevytsoraa tarvitaan suhteellisen suuria määriä vaadittavan toiminnallisuuden saavuttamiseksi.

Basajaun-levy (vaahtorainattu puukuitueriste) valmistetaan esimerkiksi sahanpurusta (90 %), palonsuoja-aineesta (8 %) ja muista lisäainekemikaaleista. Periaatteessa pääraaka-aineena voidaan käyttää mitä tahansa muutakin lignoselluloosaa sisältävää kuitua, esimerkiksi rakennusjätepuuta. Raaka-aineen tulee kuitenkin olla riittävän halpaa, joten maa- ja metsäsektorien vähäarvoiset sivuvirrat ja marginaalimaiden ylijäämätuotokset ovat ensisijaisia raaka-aineita.

Sahojen käyttämästä tukkipuusta 10–15 prosenttia päätyy sahanpuruksi. Sahateollisuuden suuren tuotannon seurauksena sahanpurua syntyy Suomessa vuosittain merkittävästi. Vuonna

2020 metsäteollisuus käytti Suomessa tukkipuuta 24,7 miljoonaa kuutiometriä, mistä laskennallisesti syntyi purua 2,5–3,7 miljoonaa kuutiometriä. Yleensä puru poltetaan joko sahan omassa lämpölaitoksessa tai jossakin muussa lähellä sijaitsevassa energialaitoksessa. Joissakin tapauksissa sahanpurua käytetään raaka-aineena myös sellun tuotannossa. Sahanpurusta voidaan valmistaa myös bioetanolia ja tulevaisuudessa ehkä kaupallisesti myös rehuaineita esimerkiksi kalankasvattamoille. Tosin bioetanolin tuotantoon sahanpurun hinta kuljetuksineen saattaa olla liian korkea. Sahanpurua käytetään myös lastulevyn valmistuksessa siten, että lastulevystä noin 70 prosenttia on purua ja 30 prosenttia muita hakejakeita sekä sidosaineita kuten liimoja. Suomessa toimii yksi lastulevytehdas, jonka tuotantokapasiteetti on 100 000 m³.

Basaujaunin kaltainen vaahtorainattu puukuitupohjainen eristelevy kehitettiin kymmenkunta vuotta sitten Saksassa. Myös se perustuu puumassan vaahdottamiseen (tai paisuttamiseen) ilmapuhalluksen avulla. Fraunhoferin mukaan sen kehittämä Woodfoam-eristelevy voidaan valmistaa kokonaan uusiutuvista raaka-aineista: lehti- tai havupuusta, mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirroista tai esimerkiksi oljesta tai hampusta. Levyä voidaan muokata joko jäykäksi tai joustavaksi. Fraunhoferin mukaan valmistuksessa ei tarvita synteettisiä sidosaineita ja levy voidaan kierrättää paperina. Palonestoaineita siihen voidaan lisätä. Vaikka Fraunhofer esitteli eristelevyn jo vuonna 2014, se kertoo edelleen optimoivansa tuotantoprosessia ja arvelee, että laajamittaiseen tuotantoon levy voisi päästä muutaman vuoden päästä. Vielä viisi vuotta sitten Fraunhofer kertoi, että raaka-aineet ovat 100 prosenttisesti uusiutuvia, mutta nykyään se ilmoittaa, että ”melkein kaikki” niistä ovat uusiutuvia⁶⁰.

Fraunhofer on kehittänyt levystään myös muita versioita, esimerkiksi sellaisen hybridiratkaisun, jossa alumiinista valettuun pesusienimäiseen metallikehikkoon on ruiskutettu vaahdotettua puumassaa ja lopputuloksena saadun hybridilevyn pinnat on päällystetty metallilevyillä. Tällä tavoin on saatu kevyt itsekantava HoMe-levy (Holz-Metal). Toinen hybridiratkaisu perustuu sandwich-rakenteeseen: betonisen rakennusharkon sisällä oleva polyuretaanieriste on korvattu Woodfoam-eristeellä. Siitä on kehitetty myös toinen versio, jossa rakenteen betonisia ulkokerroksia on vahvistettu tekstiilikuiduin (teräs-, hiili-, lasi- tai muiden polymeerikuitujen avulla), jolloin elementeistä on saatu ohuempia ja kevyempiä⁶¹.

Korvaavien ja korvattavien eristelevyjen tärkeimmät vertailtavat ominaisuudet on esitetty Taulukossa 17. Korvaavia ratkaisuja on verrattu korvattaviin, ja vertailussa on käytetty seuraavaa asteikkoa: 0 = sama kuin korvattava, + = parempi kuin korvattava, ++ = huomattavasti parempi kuin korvattava, - = huonompi kuin korvattava, -- = huomattavasti huonompi kuin korvattava.

⁶⁰ <https://www.wki.fraunhofer.de/en/departments/hnt/profile/research-projects/wood-foam.html>

⁶¹ https://www.wki.fraunhofer.de/content/dam/wki/en/documents/media-center/information-material/flyers-and-fact-sheets/hnt/FactSheet_HNT_New-hybrid-material-made-from-wood-and-metal-for-lightweight-construction_2019-02.pdf

Taulukko 17. Korvaavien ja korvattavien eristelevyjen ominaisuudet.

Korvaavien rakenuseriste-materiaalien suhde nykyisiin materiaaleihin	Uudelleenkäyttö	Uusio-käyttö	Energia-käyttö	Kaato-paikkasijoitus	Biohajoavuus maassa	Kestävyysskäyttökoh-teessa	Paino	Eristys-kyky	Hinta
EPS ja XPS referenssit	Mahdollista, mutta käytöstä poistetulle tuotteelle ei ole käytössä erilliskeräystä sekä kattavaa hyödyntämisyjärjestelmää. Leikkujätteet kerätään	Ei ole käytössä erilliskeräystä sekä kattavaa hyödyntämisyjärjestelmää	Mahdollista	?	Eivät hajoa	Hyvä	Kevyt	Hyvä	ref
Vaahtorainattu sel-lukuituperusteinen eristelevy seinissä (Basajaun)	+ mahdollista	+ mahdollista	+	+	+	+ hengittävä rakenne — altis kosteudelle	— hieman painavampi	0 samaa	ei tiedossa
Kevytsora (maarakent., kattoratkaisu)	+ mahdollista	?	— ei sovellu	?	—	+	— — paljon painavampi	— — paljon huonompi	0
Vaahtolasilevy ja vaahtolasimurske (maarakent., kellarin seinä)	+ mahdollista	?	— ei sovellu	?	—	+	— — paljon painavampi	++	0

8.4. Rakentaminen / suojamuovi betonille tai puurakenteille

8.4.1. Rakennustyömaiden pakkausmuovit

Rakennustyömailla syntyy jätemuovia muun muassa pakkauksista, asennuksien hukkapaloista ja betonivalun peitteenä käytetyistä muoveista. Rakennustyömaan muovin erilliskeräyksessä on merkittävä kasvupotentiaali. Rakentamisen muovit green deal -sopimus 2020–2027 on vauhdittamassa rakennusalaalla käytettyjen kalvomuovien kiertotaloutta. Vuonna 2020 joulukuussa solmitussa sopimuksessa esitetään toimenpiteet ja mittarit alalla toimiville yrityksille.

Sopimuksen tavoitteena on:

- lisätä kalvomuovien erilliskeräystä ja parantaa kierrätykseen valmistelua,
- tehostaa kalvomuovien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä
- lisätä kierrätysmateriaaleista valmistettujen muovien käyttöä rakentamisen toimitusketjussa ja rakentamisessa
- optimoida ja vähentää ympäristön kannalta kestävästi kalvomuovien kulutusta
- lisätä kierrätettyjen kalvomuovien käyttöä kalvomuovien tuotannossa niin, että vuoden 2027 loppuun mennessä tuotannossa käytetyistä raaka-aineista 40 % on kierrätettyjä kalvomuoveja.

Tämä vapaaehtoinen green deal -sopimus on voimassa 2027 saakka ja kattaa alkuvaiheessa rakentamisen toimitusketjun ja **rakentamisen kalvomuovit** (rakennustuotteiden pakkaamiseen ja sisällä tapahtuvaan suojaamiseen käytettävät muovit, joita kertyy muoveista volyymitään eniten uudis- ja korjausrakentamisen työmailla). Näin ollen sopimus on tarkoitettu rakennustuotteiden valmistukseen, kalvomuovien tuotantoon, rakentamiseen ja urakointiin sekä jätehuollon ja kierrätyksen alan toimijoille⁶².

Eri muovien soveltuvuus lajitteluun, jatkokäsittelyyn sekä uusiomuovien markkinat (Suomen Uusiomuovi) (Katri Luoma-aho 2020. Kaikki muovi kiertää -toimenpidesuunnitelma pakkausmuovien kierrätyksen edistämiseksi) on esitetty Taulukossa 18.

⁶² <https://sitoumus2050.fi/rakentamisen-muovit#/>

Taulukko 18. Kaikki muovi kiertää. Pakkausmuovin toimenpidekartta loppuraportti AFRY.

	Lajittelu	Jatkokäsittely	Markkinat
LDPE-kalvo (myös green PE)	Ok	Ok	Ok
HDPE	Ok	Ok	Ok
PP kovat pakkaukset	Ok	Ok	Ok
PP-kalvo	Ok	Ok ^a	-
A-PET	Ok	Ok	Ok
C-PET ja PET-G	(OK)	-	-
PS	Ok	(Ok) ^b	- ^c
EPS ^d	-	-	-
PVC ^e ja PVDC	Ok	-	-
PLA ja muut biohajoavat	-	-	-
OXO-hajoavat	-	-	-

a) Uusiomuovista valmistettu PP-kalvo ei ole kirkas

b) PS lajitellaan ns. "sekamuovi" -ryhmään, jonka kierrätys on tapauskohtaista

c) Käyttö vähäistä, rajalliset markkinat

d) EPS (styrox) kuluttajapakkaukset; yrityspakkauksilla omat kierrätysjärjestelmänsä

e) PVC ei sovi kuluttajapakkauksiin kierrätykseen

8.4.2. Betonin jälkihoito/suojamuovi

Betonoinnin jälkeen täytyy aloittaa betonin jälkihoito välittömästi, jotta sen halkeilu saadaan minimoitua. Lyhin jälkihoitoaika on yleensä kolme vuorokautta, mutta pakkasen, kulutuksen tai kemiallisen rasituksen alaiseksi joutuvilla rakenteilla sen tulee olla vähintään seitsemän vuorokautta.

Nykyiset vaihtoehdot betonin jälkihoidolle ovat betonipinnan peittäminen muovikalvolla, kastelu ja nestemäisten jälkihoitoaineiden käyttö. Kaikilla vaihtoehdoilla on omat hyvät ja huonot puolensa.

Betonipinnan peittäminen muovikalvolla:

- Tehdään mahdollisimman nopeasti valun jälkeen eli heti kun betoni kestää kävelemisen.
- Estää kutistumahalkeamien synnyn.
- Mahdollisuus suojata tuore pinta sateelta. Kun betonipinnalle ei kerry vesikerrosta, tapahtuu kuivuminen pinnoituskosteuteen nopeammin.

Betonipinnan kastelu:

- Ei voida käyttää talviolosuhteissa.
- Jos laatan betonoinnissa on käytetty normaalibetonia nopeammin kuivuvaa betonia ja tavoitteena on pinnan aikainen pinnoittaminen niin jälkihoitona ei tällöin luonnollisestikaan kannata käyttää vesihoitoa.
- Pintaa kastelemalla plastisia kutistumishalkeamia, jotka syntyvät heti valun jälkeen, ei voida ehkäistä, sillä kastelu tai sumuttaminen voidaan aloittaa vasta, kun vesi ei enää huuhto sementtiä ja hienoaainesta pinnasta.

Nestemäisen jälkihoitoaineen käyttö:

- Aine muodostaa betonin pinnalle lähes täysin kosteutta läpäisemättömän kalvon.
- Jälkihoidon onnistuminen varmistetaan lisäksi muovipeitolla tai käyttämällä tehokkaita betonin pintaan telattavia jälkihoitoaineita.
- Jos betonipinta käsitellään myöhemmin esimerkiksi maalamalla tai pinnoittamalla, jälkihoitoaine joudutaan poistamaan mekaanisesti tartunnan parantamiseksi. Jälkihoitoaineita on useita: jos käytetty aine on itsestään haihtuvaa, mekaanista käsittelyä ei tarvita.

Betonisuojauksessa muovi likaantuu ja sen uudelleenkäyttö on harvinaista. Betonin jälkihoidossa käytetty muovi voidaan korvata voimapaperin kaltaisella tuotteella, johon on tuotu sopiva pinnoite. Myös tällöin täytyy varmistua, että kosteuden haihtuminen betonipinnalta on estetty tai minimaalinen, koska vain siten voidaan välttyä halkeamien muodostumiselta.

8.4.3. Muovisuojaus työmaalla

Puurakentamisessa käytetään suojapeitteitä suojamaan työmaalle tuotua puutavaraa tai puurakenteita (kääremuovi). Suojapeitteiden tarve puutavaralle on lyhytaikainen, kun sen sijaan itse rakentamisessa tarve suojapeitteille on yleensä useita kuukausia.

Julkisivujen suojauksessa käytetty peitemuovi on ohut ja voi käyttöaikana rikkoontua, jolloin uudelleenkäyttö ei ole vaihtoehto. Vaihtoehtoisen materiaalin täytyy kestää säärasitukset ja estää rakenteen / puutavaran kastuminen. Korjauskohteissa sen täytyy myös estää pölyjen leviäminen ulkopuolelle.

Tietyt paperituotteet voisivat olla potentiaalisia vaihtoehtoja muoville, mutta niiden toimivuudesta ei löydy vielä julkista materiaalia. Kehitystyötä on meneillään.

8.4.4. Rakennusmuovien keräys ja kierrätys

Suomen Uusiomuovi Oy on muovipakkausten virallinen tuottajayhteisö, jonka tehtävänä on vastata yli 2500 yrityksen lainmukaisen pakkausten tuottajavastuun toteutuksesta. Päätehtäviin kuuluvat muovipakkausten keräysverkoston ja kierrätyksen järjestäminen sekä pakkausten kierrätettävyyden edistäminen.

Muovin keräys on järjestetty keräystä hoitavien yhteistyökumppaneiden kautta kuten esim. Lassila & Tikanoja, Remio, Encore ympäristöpalvelut, ym. yhteensä 62 terminaalin kautta.⁶³

Muovipakkausten talteenotto rakennustyömailta (mm. elementtien suojat, eristepakkaukset jne.) on ollut vähäistä. Rakennustyömaiden tilanpuute, työntekijöiden motivaatio, osaaminen sekä taloudellisten kannusteiden puute ei ole kannustanut muovin erilliskeräykseen. Myöskään tilaajat eivät ole yleensä edellyttäneet erilliskeräyksen järjestämistä. Trendi kuitenkin on, että rakennustyömaalla syntyvän pakkausmuovin erilliskeräys lisääntyy merkittävästi lähivuosina rakennusyritysten itselleen asettamien kierrätystavoitteiden ja Rakentamisen muovit green deal -sopimuksen 2020–2027 toimeenpanon ansiosta.

Yrityspuolella esimerkiksi pakkauksissa käytettyä kalvomuovia kerätään talteen noin 90–95 %. Kierrätetyille hyvälaatuiselle PE-granulaatille löytyy markkinoita ja uusia kierrätyskohteita.

⁶³ [Suomen Uusiomuovi Oy:n terminaalit yrityspakkauksille | Suomen Uusiomuovi Oy](#)

Haaste materiaalin hyödyntämiselle onkin uusiogranulaatin laatu sekä uusiotuotteen valmistusprosessi.

8.4.5. Esimerkkejä polyeteenimuovin kierrätyslaitoksista

A-Kassi Ky valmistaa pakkausratkaisuja pakkaavalle, kuljettavalle ja varastoivalle teollisuudelle (myös rakennusmateriaalien suojaukset). Tuotteet voidaan valmistaa osin myös uusiomuovista. Materiaalina oman tuotannon hukkakajakeet sekä yhteistyökumppaneiden korkealaatuinen PE-LD kierrätysmuovi.

Art-Pak-Oy valmistaa Art-Pak Film:ia, joka on vahva käärekalvo sahatavaran suojaukseen. Siinä kierrätetty raaka-aine on osittain peräisin suljetun kierron prosessista, jossa vanha sahatavarakääre muuttuu uudeksi sahatavarakääreksi.

Raniplast valmistaa sahatavarankäärettä ja kutistekalvoa osittain LDPE-uusiomuovista (RaniWPC, tehokas sahatavarakääre ja RaniShrink, Kestävä kutistekalvo vaativiin pakkaustarpeisiin)⁶⁴. Tuotteena on myös suojakalvo betonivalujen suojaksi, **RANI** (RaniProtec, väritön 0,2 mm 3x45m 135 m²).

Sauplast Oy valmistaa kotimaista vahvaa suojakalvoa muun muassa rakennusaikaiseen suojaamiseen ja peittelyyn. Raaka-aineena käytetään tuotannossa syntyvää hukkakalvoa ja sekä markkinoilta hankittua keräysmuovia. Sauplastin tuotannosta merkittävä osa on kierrätettyä materiaalia. Sauplast valmistaa kierrätysmuovista mm. suoja- ja peitekalvoja, arkkeja, huppuja, kasseja, säkkejä ja pusseja, niin irtto- kuin rullatuotteina. Laitteita ja menetelmiä kehittämällä on päästy aiempaa kestävämpiin ja silti ohuempiin kalvoihin.^{65,66}

Myös **Amerplast** on vastikään liittynyt Rakentamisen muovit green deal –sopimukseen.

Fortumilla on kaksi muovinkierrätyslaitosta: Riihimäen Kuulojan laitos, joka vastaanottaa erilliskerättyjä kuluttajapakkauksia ja prosessoi niistä uusioraaka-ainetta, sekä Riihimäen Kynttilätien laitos, joka vastaanottaa teollisuudesta erilliskerättyä muovijaetta, josta valmistetaan uusiomuovituotteita kuten tolppia ja profiileja.

Kierrätykseen kelpaava muovi päätyy uusiotuotteisiin ja rejekti ohjataan energiahyötykäyttöön. Molemmat laitokset käsittelivät vuonna 2018 (arvio) yhteensä n. 14 000 t muovia, josta kuluttajapakkausosien osuus oli 10 000 t/v. Kuluttajapakkauslaitoksen kapasiteetti on 30 000 t/v (Smart&Clean-säätöön 'Kaikki muovi kiertää'-hankkeessa tehtyyn Fortumin haastatteluun v. 2018).⁶⁷

Riihimäellä Fortumin kiertotalouskylässä toimii myös 100 000 tonnin kapasiteetin laitos, jossa pystytään mekaanisesti erottelemaan sekajätteestä eri jätelajit talteen (Circ Hub).

Fortum Circo -kierrätysmuovi valmistetaan pääasiassa kotitalouksien muovipakkausjätteestä, joka lajitellaan ja jalostetaan Fortumin muovijalostamossa tasalaatuisiksi raaka-aineeksi. Fortum Circoa on saatavilla HDPE-, LDPE- ja PP-granulaattina. Nämä uusiogranulaatit soveltuvat

⁶⁴ [Tehokas kalvo puutavaran suojaukseen | Raniplast](#)

⁶⁵ <https://www.sauplast.fi/kiertotalous/>

⁶⁶ <https://www.sauplast.fi/tuotteet/kierratysmuovituotteet/>

⁶⁷ [Kierrätystuotteet- ja palvelut | fortum.fi](#)

osaksi olemassa olevia tuotantoprosesseja ja raaka-ainetta voidaan räätälöidä asiakaskohtaisiin tarpeisiin.

Kujalan jätekeskuksessa, Lahdessa, otettiin vuonna 2016 käyttöön LATE-lajittelulaitos, joka täydentää syntypaikalla tapahtuvaa lajittelua mekaanisesti noin 65 000 tonnin vuosikapasiteetilla. Muovi päätyy pääosin energiahyödyntämiseen.

Lassila & Tikanoja: Muovinaattori käsittelee yrityksissä syntyviä muoveja. Merikarvian laitoksen kapasiteetti on 20 000 tonnia muovia vuodessa.⁶⁸ Laitoksen jätemuovin käsittelylinjastossa on käytössä uusi pesuteknikka, jonka avulla voidaan käsitellä entistä likaisempia ja haasteellisempia muoveja. Tehdas valmistaa yli 100 erilaista uusiomuoviraetta, joita hyödynnetään pääosin kotimaisessa muoviteollisuudessa. Erityisesti kaupan alalla ja rakentamisessa syntyy valtavia määriä sellaista likaista jätemuovia, jonka kierrättäminen on aiemmin ollut hankalaa.

Remeolla on uusi laitos Vantaalla, jossa käsitellään rakentamisen, kaupan yms. muoveja. Remeo hyödyntää laitoksellaan ZENRoboticsin älyteknologiaa jakeiden erottelussa.

Pohjanmaan Hyötyjättekuljetus Oy; Käytössä on keräysmuovin kaasutus- ja nesteytysprosessilaitos. Pilot-laitoksessa käsitellään muovia noin 800 tonnia/v ja siellä valmistetaan öljyä noin 3000 m³ vuodessa. Käyttää teollisuuden ja kaupan erilliskerättyä pakkausmuovia ja hylky-muovia. Yrityksen täyden mittakaavan laitoksessa valmistuisi öljyä 20 000 m³ vuodessa (Pilot-laitoksen ympäristölupa). Öljyn käyttötarkoitus olisi pääasiassa käyttö polttoaineena.

Merkittävistä toimijoista **Nesteen** tavoitteena on käsitellä vuosittain miljoona tonnia jätemuovia kemiallisesti nesteytystekniikalla vuodesta 2030 lähtien (Uusiouutiset 1/2020). Neste on muovitiekartassaan todennut, että parantuva lajittelu ja keräys lisäävät myös mekaaniseen kierrätyksen sopimattoman muovin määrää. Neste on antanut myös vapaaehtoisen sitoumuksen muovin kierrätyksen lisäämisestä, joka perustuu Euroopan komission kehoitukseen vapaaehtoisista sitoumuksista kierrätetyn muovin käytöstä tai valmistuksesta. Uuden kemiallisen kierrätyslaitoksen rakentaminen pääkaupunkiseudulle on epätodennäköistä mutta muualle eteläiseen Suomeen hyvien kuljetusyhteyksien varrelle hyvin mahdollista.

Rakennusmuovien kierrätyksestä haastateltiin muoviarvoketjun toimijoita. Vastaukset ovat esitetty Taulukossa 19.

⁶⁸ [Muovin kierrätys - Muovinaattori \(It.fi\)](#)

Taulukko 19. Kyselyvastauksia arvoketjun toimijoilta rakennusmuovien kierrätyksestä

	Mitkä tahot ottavat vastaan jätemuovia (EPS/XPS-levyt, betonin suojamuovit)?	Kuinka suuri osa menee kierrätyslaitoksiin? Minne loput menee?	Onko muovin talteenotto/kierrätys riittävän tehokasta? Jos ei, miten sitä voitaisiin parantaa?	Onko kierrätetyille materiaaleille ja niistä valmistetuille tuotteille kysyntää markkinoilla? Mikä muu kuin epäpuhtaudet (alempi laatu) estää kysynnän?	Kierrätetyt materiaalit ja vaihtoehdot materiaalit: Mitä esteitä voi olla kaupallistamiselle?	Millaisena näette suomalaisen yritysten ja tutkimuslaitosten edellytykset kehittää/innovoida muovia korvaavia materiaaleja ja muita kiertotalousratkaisuja suhteessa kilpailijoihin?	Millaisia innovaatio- ja yritystoimintamahdollisuuksia liittyy tuotteiden uudelleenkäyttöön kertakäytön vaihtoehtona?
Rakennusteollisuus RT		-Vuoden 2027 loppuun mennessä tuotannossa käytetyistä raaka-aineista 40 prosenttia tulisi olla kierrätettyjä kalvomuovia; - GreenDeal sopimus					
Uusiomuovi oy	-Pakkaukset jätehuoltoyhtiön kautta: L&T, Remio, Encore ympäristöpalvelut ym. -Yrityspakkauksille tarkoitettuja terminaalieja yhteensä 62 kpl. Ottavat vastaan puhaita muovipakkauksia ja kääreitä (PE-LD).	-Yrityspuolella pakkauksien kierrätys 90–95 %. -Uusiomuovilla kartoitustumistio yrityspakkauksille (Excel);	Pakkausmuovin keräys on järjestetty hyvin. Uusiomuovilla 62 vastaanottoterminaalieja. EU:n muovistrategia edellyttää, että vuonna 2030 kaikki muovipakkaukset on valmistettu kierrätetyiksi tai uudelleen käytettäviksi.	Kalvomuoville on markkinat olemassa, kuitenkin puhtaus vaikuttaa	Haaste uusiogranlaatin laatu ja uusiotuotteen valmistusprosessi, jossa eri säädöt kuin neitseellisesti valmistetulla muovilla. Myös uusiotuotteen laatu tärkeä.	Uusia tuotekehitysprojekteja menossa	

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

Laasila ja Tikanoja	EPS/XPS ottavat vastaan ainakin pari valmistajaa kuten Bewi Finland ja Finnfoam sekä L&T Ympäristöpalvelut. Muista ei meillä tietoa. LD-PE ottavat vastaan jätehuolto yritykset eli esim. L&T Ympäristöpalvelut.	L&T:llä menee kaikki kierrätyslaitoksiin muista emme valitettavasti osaa sanoa.	Ei ole. Kierrätetyn materiaalin käyttäjiä ei ole riittävästi. Syn-typaikka lajittelua ei tehdä rakennustyömailla riittävästi vaan muovit ohjataan polttoon.	Ei ole. Kotimaiset valmistajat ostavat useasti kierrätys muovinsa mieluummin ulkomailta. Laatu ei ole ongelma. Esim. L&T:llä on oma pesulaitteistonsa erilliskerätyille kalvomuoville.	Ei tiedetä mitä tarkoitetaan vaihtoehtoisilla materiaaleilla niin emme lähde arvaamaan. Muovi on materiaalina yksi maailman parhaista, jos se vaan kerätään käytön jälkeen talteen ja kierrätetään uudelleen raaka-aineeksi.	Suomessa on mielestämme hyvin tietoa tai-toa muovin korvaavien materiaalien kehittämiseen.	Mieleen tulee esim. tuotteiden vuokraus toiminta ja tuotteiden jakamislustat eli yhteisomistus mahdollisuus
Jackon Finland	Otamme vastaan puhdasta EPS-jätettä uusiokäyttöä varten.	Me käytämme kaiken vastaanottamamme puhtaan EPS-jätteen tuotantoprosessissamme.	Pystyisimme vastaanottamaan enemmänkin EPS-jätettä.	Kaikki vastaanotettu materiaali pystytään hyödyntämään tietyissä tuotteissamme		Meillä tämä etenee konsermitasolla (Jackon monikansallinen toimija), toki Suomessa varmasti samat edellytykset kuin muuallakin	

8.4.6. Yhteenveto korvaavien ja korvattavien suojamateriaalien ominaisuuksista

Rakentamisen kalvomuovia voidaan mahdollisesti korvata voimapaperin kaltaisella tuotteella. Kun käyttökohteena on betonipinnan suojaus, täytyy varmistua, että kosteuden haihtuminen betonipinnalta on estetty tai minimaalinen. Pakkausmuovin korvaamisen paras vaihtoehto on käyttää kierrätysmuovia.

Kierrätetylle hyvälaatuiselle PE-granulaatille löytyy markkinoita sekä myös uusia kierrätyskohteita. Haasteena materiaalin hyödyntämiselle on uusiogranulaatin laatu sekä uusiotuotteen valmistusprosessi. Näyttää kuitenkin siltä, että ”Suomessa on varsin helposti saavutettavissa Rakentamisen muovit green deal –sopimuksen 40 prosentin tavoite kierrätyskalvomuoviraaka-aineen käytöstä uusiokalvomuovien tuotannossa. Tekniset valmiudet ovat olemassa muoviteollisuudella, kuten Amerplast tai Raniplast” (kommentti: Muoviteollisuus ry:n toimitusjohtaja Vesa Kärhä, kiertoon rakentamisessa! -tilaisuus, Ympäristöministeriö, 16.11.2021).

Rakentamisen kalvomuovien keräys ja kierrätys tulee lähivuosina kasvamaan green deal -sopimuksen toimeenpanon myötä. Green deal -sopimuksen ensimmäinen sopimuskausi ulottuu vuoteen 2027 asti ja se kattaa koko rakentamisen arvoketjun. Arvoketju kattaa rakennustuotteiden valmistuksen, kalvomuovien tuotannon, rakentamisen toimitusketjun, eli kaupan ja rakennuskonevuokrausalan toimijat, urakoinnin, jätehuollon ja kierrätyslaitokset.

Korvaavien ja korvattavien suojamateriaaliratkaisujen tärkeimmät vertailtavat ominaisuudet on esitetty Taulukossa 20. Korvaavia ratkaisuja on verrattu korvattaviin, ja vertailussa on käytetty seuraavaa asteikkoa: 0 = sama kuin korvattava, + = parempi kuin korvattava, ++ = huomattavasti parempi kuin korvattava, - = huonompi kuin korvattava, - - = huomattavasti huonompi kuin korvattava.

Taulukko 20. Korvaavien ja korvattavien suojamateriaaliratkaisujen ominaisuudet.

Korvaavien peitekalvomateriaalien suhde nykyisiin materiaaleihin	Uudelleenkäyttöaste	Uusio-käyttöaste	Energiakäyttö	Kaatopaikkasijoitus	Bio-hajoavuus maassa	Kestävyys käyttökohteessa	Paino	Eristyskyky	Hinta
PE-LD referenssi	mahdollista mutta usein likainen	?	Käytetään	?	Ei hajoa	Hyvä	Kevyt	Eristää hyvin kosteuden haihtumisen	ref
pinnan kastelu	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	– voidaan aloittaa vasta myöhemmin, haittana hiushalkeamat	edullista
nestemäinen jälkihoitoaine	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	ei vertailtavissa	+ eristää hyvin, mutta joudutaan poistamaan, jos tarvitaan pinnoitusta tai maa-lausta	? useita lajeja
paperiratkaisu (kehitteillä)	?	+	0		+ Hajoaa	0	0	?	ref

8.5. Maanviljelys / kateviljelyn katepeite

8.5.1. Katepeitteiden käyttö ja markkinat

Maanviljelyksen katepeite antaa viljelijälle mahdollisuuden parantaa sekä laadullisesti, että määrällisesti satoa ja vähentää tuholaistorjunta-aineiden, lannoitteiden ja kasteluveden käyttöä. Perinteinen materiaali katepeiteille on polyeteenimuovi PE, mutta myös etyleeni-vinyyliasettaattimuovia (EVA) ja polyvinyylikloridimuovia (PVC) käytetään. Nämä muovit eivät hajoa maaperässä ja ne pitäisi poistaa maasta jokaisen viljelykauden päätteeksi. Monissa maissa maaperään jätettävä biohajoamaton katekalvo on suuri ongelma. Biohajoavien katepeitteiden kehittämisen lähtökohta on ollut vähentää maaperään kertyvää makro- ja mikromuovia. EU:n alueella arvioidaan perinteisestä katemuovista maahan jäävän 5–25 %⁶⁹. Kiinassa arvioidaan kaikista maatalousmuovikalvoista maaperään jäävän n. 19 %⁷⁰.

Katepeitteiden sijasta käytetään myös maatuovia katemateriaaleja kuten olkea, vesihyasinttia, kuorihaketta ja erilaisten viljelykasvien jäännösjätevirtoja⁷¹. Biohajoavien filmien ja paperipohjaisten materiaalien yleistymistä on hidastanut mm. niiden korkeampi hinta. Kun otetaan huomioon perinteisen muovin poiston kustannukset, muovijäänteiden ympäristövaikutukset ja vaikutus maaperän tuottavuuteen, kustannuserot biohajoamattoman muovin ja biohajoavien katepeitteiden välillä kaventuvat⁷².

Vuonna 2014 maailmanlaajuisesti peitettiin 80 000 km² viljelymaata katepeiteillä⁷³. Euroopassa arvioidaan vuosittain käytettävän 85 milj. kg katemuovia.⁷⁴ Tällä hetkellä muovisia katepeitteitä käytetään eniten Kiinassa ja Yhdysvalloissa. Kiinan osuuden katepeitteiden globaalista pinta-alasta on arveltu olevan jopa 60 prosenttia. Muovisten katepeitteiden käyttö on lisääntynyt viimeisten vuosikymmenien aikana erittäin nopeasti nimenomaan Kiinassa, jossa niiden peitossa on nykyään 20 miljoonaa hehtaaria, noin 13 prosenttia viljelymaasta⁷⁵. Tämä vastaa Suomen metsien pinta-alaa.

Kiinassa erityisongelma on se, että käytetyt katepeitteet ovat yleensä hyvin ohuita, 4–8 mikrometriä, minkä vuoksi ne repeytyvät helposti eikä merkittävää osaa niistä käytännössä useinkaan saada poistettua viljelyksiltä. Lisäksi ongelmaa pahentaa se, että suuri osa näistä ohuista katepeiteistä on PVC:tä, jonka pehmentimenä käytetään jopa 50 % ympäristölle ja ihmiselle haitallisia ftalaatteja⁷⁶. Tutkimusten mukaan joidenkin alueiden pelloilla ja peltomaassa on jopa

⁶⁹ <https://ec.europa.eu/environment/system/files/2021-09/Agricultural%20Plastics%20Final%20Report.pdf>

⁷⁰ <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.1c04369>

⁷¹ https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-22301-4_1

⁷² <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/1/36>

⁷³ <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-R-00555-14.pdf>

⁷⁴ Novamont kertoo [nettisivuillaan](#) v. 2020: *Approximately 85,000 metric tons of plastic mulching film are used in Europe every year, a total surface area of 460,000 hectares.*

⁷⁵ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/9/091001/meta>

⁷⁶ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/9/091001/meta>

50–200 kg/ha eri asteisesti pilkkoutunutta katemuovia. Kiinan hallitus onkin kannustanut viljelijöitä lisäämään hieman paksumpien, noin 10 mikromillia paksujen muovikatteiden kuten myös biohajoavien katteiden käyttöä. Yhdysvalloissa ja Euroopassa käytetään yleensä 10–20 mikrometrin paksuisia katepeitteitä, so. noin 3–5 kertaa paksumpia kuin Kiinassa, minkä takia ne kestävät paremmin ja voidaan saada paremmin kerättyä pois pelloilta.

Katepeitteiden kokonaismarkkina on tällä hetkellä noin 4 miljardia USD⁷⁷. Siitä biohajoavien katepeitteiden markkina oli vuonna 2019 noin 45 miljoonaa USD⁷⁸. Karkeasti arvioiden vuonna 2019 biohajoavien katepeitteiden markkinaosuus oli siis 1–2 %. Luku on samaa suuruusluokkaa kuin biomuovien osuus kaikista muoveista yleisesti. Euroopassa maatalousmuovien markkinoiden ennustetaan kasvavan n. 5 % vuosittain ja pääasiallinen kasvu tapahtuu muovikalvojen kohdalla⁷⁹.

Merkittäviä biokatteiden valmistajia ovat mm. BASF (Saksa), BioBag (Norja, tehdas Virossa), Novamont (Italia), Organix (Yhdysvallat), Barbier (Ranska), Plastika Kritis (Kreikka), Imaflex (Kanada), Robert Marvel (Yhdysvallat) ja Armando Alvarez (Espanja).

Kuitukangas katepeitteet (mulch textiles, mulch-mats) ovat yleensä polypropeenaa PP. Myös PLA:sta valmistettuja kuitukankaita ja PLA:n ja PP:n sekotteita on markkinoilla. Kuitukangas katepeitteitä valmistavat esimerkiksi Freudenberg Nonwovens (PP) ja DSTG (PLA).

8.5.2. Perinteistä muovia korvaavat materiaalit katepeitteissä

Termoplastinen tärkkelys (thermoplastic starch TPS) oli v. 2015 yleisin katepeitteissä käytetty maassa biohajoava materiaali⁸⁰. Muita biopohjaisia ja biohajoavia polymeerisiä katepeitemateriaaleja ovat mm. tärkkelys, PLA, PBAT, selluloosa ja polyhydroksialkanoaatit⁸¹ sekä näiden erilaiset seokset. Erilaisten viljelykatteiden toimivuutta ja markkinapotentiaalia arvioitaessa on huomattava, että markkinoilla nykyään toimivat suuret valmistajat tyypillisesti räätälöivät kate tuotteitaan erilaisiin tarkoituksiin: eri kasveille, lämpötiloille, sademäärille ja erilaisiin säteilyolosuhteisiin. Esimerkiksi ranskalainen maatalouskatteiden, muiden maatalousmuovien ja pakkausmateriaalien valmistaja Barbier tarjoaa asiakkailleen opastusta oikeanlaisen viljelykatteen valintaan esittämällä auringonsäteilyn voimakkuuden maantieteellistä vaihtelua kuvaavan kartan.

Suomessa on tehty julkista kehitystyötä paperipohjaisen katepeitteen kehittämiseksi pohjalta vuosina 2010–2013⁸². Sitten Walki on alkanut valmistamaan paperipohjaista maatuva katepeitettä⁸³. Walki® Agripap on valmistettu voimapaperista, joka on päällystetty biohajoavalla päällystekerroksella, mikä hidastaa paperin muutoin liian nopeaa hajoamista. Walki® Agripap

⁷⁷ <https://www.industryarc.com/Research/Mulch-Films-Market-Research-505106>

⁷⁸ <https://www.imarcgroup.com/biodegradable-mulch-films-market>

⁷⁹ <https://ec.europa.eu/environment/system/files/2021-09/Agricultural%20Plastics%20Final%20Report.pdf>

⁸⁰ <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.019>

⁸¹ <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00819>

⁸² <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-R-00555-14.pdf>

⁸³ https://www.walki.com/case_stories/naturalmulchingpaperachievesexcellentresultsinfieldtests.html

hajoaa lopulta maaperässä⁸⁴. Jos aiemmin mainittu maailmanlaajuisesti muovikatteilla peitetty 80 000 km² viljelymaata peitettäisiin paperikatteella (paino 60–100 g/m²), tarvittaisiin vuosittain 4,8–8,0 milj. tonnia paperikatetta. Vertailuna Suomen paperin tuotanto vuonna 2020 oli 4,5 milj. tonnia⁸⁵.

Fossiilisesta muovista valmistettujen katepeitteiden ja biohajoavien katepeitteiden ohella käytetään myös orgaanisia, kiinteitä katemateriaaleja kuten olkea, vesihyasinttia, kuorihaketta, järviruokoa ja erilaisten viljelykasvien jäännös- tai sivuvirtoja⁸⁶. Kiinteiden organisten katteiden osalta on huomattava, että esimerkiksi olki ja järviruoko kuluttavat tyypeä maatuessaan (niillä on korkea C/N-suhde). Tämän takia ne eivät sovellu katteiksi kaikille kasveille ja maalajeille. Olki soveltuu esimerkiksi perunalle. Oljessa ei saa olla liikaa torjunta-ainejäämiä, jos sitä käytetään esimerkiksi luomutuotannossa. Tavallisesti olki on Suomessa järkevää palauttaa maahan – etenkin jos viljelyssä käytetään toistuvasti samaa viljelytekniikkaa ja yksivuotista kasvilajia.

Tärkkelyksen ja esim. polyesterin seokset

Mater-BI. Novamont myy katepeitteiden valmistukseen Mater-Bi materiaalia, joka on tärkkelyksen ja polyesterin seos. Novamontin mukaan materiaali on saanut sertifiointin maaperässä biohajoavuudelle⁸⁷. Mater-Bi-lajeja on kuitenkin paljon erilaisia ja niiden ominaisuudet ja raaka-aineet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. BioBag myy Mater-BI:stä valmistettua kalvoa maassa biohajoavana katepeitteenä tuotenimellä BioAgri⁸⁸. Sitä myydään useana eri lajana, valinta riippuu viljelykasvin ominaisuuksista.

Briassoulis et al⁸⁹ on tutkimuksissaan verrannut kahdentyypisen kaupallisen maassa biohajoavan katepeitemateriaalin (Mater-Bi/Novamont ja Ecovio/BASF) ominaisuuksia perinteiseen PE katepeitteeseen (LLDPE/Plastica Kritis). Briassoulisin mukaan tutkittujen biopohjaisten ja maassa biohajoavien kalvojen toiminnallisuus yleisellä tasolla oli tyydyttävä, mutta eroja mekaanisissa ominaisuuksissa ja vesihöyryn läpäisevyyksissä oli. Kirjoittajien mukaan nämä uudet ympäristöystävällisemmät materiaalit kuitenkin tarjoavat mahdollisuuden uudenlaisiin kestäviin maanviljelyskäytäntöihin.

Bioskan mukaan sen biohajoavien katteiden pääraaka-aineet ovat maissi- ja perunatärkkelys, mutta yksityiskohtaisempaa tietoa raaka-aineista ei ole saatavilla.

Salonen et al. (2017) testasivat ja vertailivat biohajoavia katteita fossiilipohjaiseen katemuoviin (ns. mansikkamuovi) vihannesviljelyn rikkakasvien torjunnassa Piikkiössä vuosina 2014 ja 2016. Testatut kalvot olivat Bioska Maatalouskalvo (paksuus 0,015 mm), BioAgri (0,018 mm), Valoska (0,015 mm) ja kaksi erilaista paperikatetta (Walkin ja StoraEnson materiaalit). Tutkimuksen joh-

⁸⁴ <https://www.uusipuu.fi/ratkaisut/biohajoava-viljelykate/>

⁸⁵ Luonnonvarakeskus 2021. Tilastot >Taulukko: Massa- ja paperiteollisuustuotteiden tuotanto, ulkomaankauppa ja kulutus (1000 t), 2020

⁸⁶ https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-22301-4_1

⁸⁷ <https://www.novamont.com/eng/mater-bi-certifications>

⁸⁸ <https://biobagworld.com/products/agriculture/>

⁸⁹ <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.019>

topäätökset olivat seuraavat: "Katteiden käyttö on tehokas menetelmä vihannesviljelmien rikkakasvien torjunnassa. Ympäristöhaitallisen ja käyttökustannuksiltaan kalliin muovin tilalle on markkinoilla hyviä biohajoavia katteita. Niitä käytettäessä on viljelytekniikan (kasvualustan muokkaus, katteen levitys, taimien istutus, hoitotoimet) muututtava, koska biohajoavat katteet eivät kestä vastaavia rasituksia kuin muovikalvo. Katteiden käyttö palvelee sekä luomutuotannon että tavanomaisen tuotannon rikkakasvintorjunnan tarpeita sadon määrän ja laadun turvaamiseksi. Tavanomaisessa vihannesviljelyssä rikkakasvien kemiallisen torjunnan vaihtoehdot niukentuvat koko ajan ja tarve integroidun torjunnan ratkaisuille on ilmeinen."

PLA:n ja polyesterin seokset

Pelkkä PLA katemateriaalina olisi liian haurasta ja hajoaisi maaperässä liian hitaasti. Siksi siihen lisätään erilaisia muita ainesosia - tyypillisesti sellaisia polymeereja, jotka tuovat viljelykatteelle joustavuutta ja jotka on todettu standardien mukaisesti biohajoaviksi (PBAT, PCL, PHA). Tällaiset polymeerit tai niiden komponentit valmistetaan yleensä kustannussyistä joko kokonaan tai osittain fossiilisista raaka-aineista.

Ecovio. Kuten aiemmin jo Mater-Bi:n kohdalla kerrotaan, Briassoulis et al.⁹⁰ on tutkimuksissaan verrannut Mater-Bi:n (Novamont) ja Ecovion (BASF) ominaisuuksia perinteiseen PE katepeitteeseen (LLDPE/Plastica Kritis) ja todennut molemmat biopohjaiset ja maassa biohajoavat kalvot toiminnallisuudeltaan yleisellä tasolla tyydyttäväksi.

Paperikatteen

Markkinoilla on myös muutamia paperipohjaisia katepeitteitä. Niiden etu on, että ne eivät tuota makro- tai mikromuovia hajotessaan. Agripap-katemateriaalissa (Walki) voimapaperin ylä- ja alapintaan lisätään lakkakerros, jonka avulla paperikatteen hajoamista satokauden aikana hidastetaan. Käytännössä kyse on hydrofobisesta (vettä hylkivästä) pintakerroksesta, jonka koostumusta ja paksuutta voidaan vaihdella tarpeen mukaan.

Agripapin pinnoitteen (lakan) raaka-aineista pieni osa on fossiilisperäistä, mutta sekin on valmistajan mukaan mahdollista korvata biopohjaisilla. Alun perin tuotteessa oli tarkoitus käyttää hajoamisen hidastamiseen koivusta uutettua pyrolyysiöljyä, mutta sen käyttö katepeitteen valmistusprosessissa osoittautui liian haastavaksi. Paperikate on muovituotteita kaksi tai kolme kertaa kalliimpi, riippuen otetaanko muovikatteen poistokustannukset huomioon vai ei. Voimapaperista valmistettujen katteiden heikkoutena on myös niiden paksuus ja siten raskaus PE-kalvoihin verrattuna, mikä vaikeuttaa ja hidastaa katteiden asentamista.

Walkin asiantuntijoiden mukaan Agripap voisi yleistyä, jos joku suuri elintarvikeyritys alkaisi vaatia sen käyttöä sopimusviljelijöiltään. Tämä puolestaan vaatisi sitä, että kuluttajat olisivat valmiita maksamaan näin tuotetuista elintarvikkeista pientä lisähintaa. Agripapin kaltaiselle tuotteelle löytyy myös muita mahdollisia sovelluskohteita muovien korvaajana, mutta repäisy- ja vedenläpäisevyyden kaltaisten ominaisuuksien hallinta vaatii monilta osin vielä jatkokehitystä.

BillerudKorsnäsin voima- ja säkkipaperin tuotannon Pietarsaassa voidaan arvioida tehtaan ilmoittaman tuotantokapasiteetin perusteella käyttävän vuosittain havupuuta noin 1,1 miljoonaa kuutiometriä.

⁹⁰ <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.019>

naa kuutiometriä (tonniin valkaisuamatonta havusellua tarvitaan noin 5,6 kuutiometriä havupuuta). Tämä vastaa noin kahta prosenttia Suomen teollisuuspuun hakkuumäärästä vuonna 2020. Jos nykyisten koneiden viereen rakennettaisiin uusi kokonaan voimapaperiin ja sen jalosteisiin keskittyvä tehdas, se voisi laskennallisesti valmistaa Agripap-viljelykatetta vuosittain noin 200 000 hehtaarille (2 000 km²), mikäli Agripapin sisältämän voimapaperin painoksi oletetaan 80 g/m² ja tehtaan kapasiteetin käyttöasteeksi 90 prosenttia. Suoraviivaisesti laskien koko Euroopan viljelykatemarkkinan (460 000 ha) täyttämiseksi tarvittaisiin noin 2,5 Pietarsaaren kokoista voimapaperitehdasta ja 2,75 miljoonaa kuutiometriä havupuuta.

Katekankaat

Muoviselle polypropeeni (PP) -kuitukankaalle löytyy markkinoilta korvaajia biohajoavasta PLA-muovista valmistetuista kuitukankaista ja PP/PLA-sekoitekuitukankaista. PLA:n katsotaan yleisesti vaativan teollisen kompostoinnin olosuhteet hajotakseen, mutta joidenkin tutkimusten mukaan biohajoavuus maaperässä voidaan saavuttaa sopivien hajottajien läsnä ollessa. Tämäkin prosessi etenee makro- ja mikromuovivaiheen kautta. Myös joitakin luonnonkuitutekstiilejä kuten juuttia voidaan käyttää katekankaina.

8.5.3. Kriittisiä näkökantoja korvaavien katemateriaalien käyttöön

Valmistajien mukaan korvaavat katemuovit on suunniteltu maaperässä biohajoaviksi. Niiden hajoamisesta ei kuitenkaan ole esitetty luotettavaa ja pitkäaikaisiin kokeisiin perustuvaa tutkimustietoa (Serrano-Ruiz et al. 2021). Biohajoavia muoveja ja niiden erilaisia kombinaatiota on paljon, ja usein niiden tarkka koostumus vaihtelee lajeittain. Valmistajat eivät yleensä kerro biohajoavan katemuovin tarkkaa koostumusta liikesalaisuuden vuoksi. Monet valmistajat esittävät sertifikaatteja, jotka todistavat tietyn katemateriaalilajin hajoavan standardien vaatimusten mukaisesti maaperässä vähintään 90 %:sti. Tiedemaailma odottaa vielä lisätutkimuksia kerräntyykö hajoamattomasta osuudesta maaperään joitain haitallisia partikkeleita. Biohajoavien muovien hajoamistuotteiden mahdollisesta haitallisuudesta maaperässä on löydetty viitteitä, mutta ekotoksisuustutkimuksia tarvitaan vielä lisää (Qin et al. 2021). Perinteisten ja biohajoavien katemuovien käyttöä on tarkasteltu lähemmin mm. uudessa Euroopan komission rahoittamassa tutkimuksessa⁹¹.

8.5.4. Yhteenveto korvaavien materiaalien ominaisuuksilta verrattuna korvattaviin katemateriaaleihin

Kateviljelyssä perinteisesti katepeitteinä käytetyille fossiilipohjaisille ja biohajoamattomille muovikalvoille on saatavissa korvaavia tuotteita, jotka ovat joko osin tai lähes kokonaan bioperäisiä ja pääosin biohajoavia. Niiden hinnat ovat hieman tai selvästi kalliimpia kuin perinteisten muovikalvojen.

Biohajoavien katteiden etu perinteisiin katteisiin verrattuna on suurempi biopohjaisuus. Ne on suunniteltu hajoamaan maaperässä. Biohajoavien muovimateriaalien hajoaminen maassa etenee myös makro- ja mikromuovikappaleiden syntymisen kautta, mutta niiden hajoaminen hiilidioksidiksi, vedeksi, biomassaksi (mikrobien kasvuunsa käyttämät yhdisteet) ja mineraalisuo-

⁹¹ <https://ec.europa.eu/environment/system/files/2021-09/Agricultural%20Plastics%20Final%20Report.pdf>

loiksi on oleellisesti nopeampaa (kuukausista vuosiin) kuin perinteisillä muoveilla (satoja vuosia). Erilaisten partikkeleiden hajoamisaika maaperässä riippuu materiaalista ja maaperän ominaisuuksista. Mikromuovien ja biohajoavien mikromuovien vaikutuksesta ihmisen ja eliöstön hyvinvointiin on useita tutkimuksia meneillään. Paperikatteen pääraaka-aine voimapaperi ei tuota makro- ja mikromuoveja hajotessaan. Paperikatteen pinta kuitenkin käsitellään ohuella kerroksella materiaalia, jonka tarkoitus on hidastaa hajoamista, jotta kate säilyy toimivana satokauden ajan. Tarkkaa tietoa pinnoitteen koostumuksesta ja hajoamisen yksityiskohdista ei ollut saatavissa tähän selvitykseen.

Tutkimustulosten ja käyttäjien kokemusten perusteella korvaavat tuotteet ovat riittäviä (tydyttäviä) teknisiltä ominaisuuksiltaan, mutta eivät sovellu kaikille kasvilajeille ja edellyttävät usein toimintatapamuutoksia maatalousyrittäjiltä. Rikkakasvien torjunta ja viljelykasvista saatavan sadon määrä ovat samalla tasolla käytettäessä perinteistä muovia tai biohajoavaa katemateriaalia. Biohajoavien muovikatteen hajoamisprosessin vaikutuksesta maaperään on meneillään tutkimuksia.

Tutkimuksen aikana haastattelimme ProAgrian edustajaa ja MTK:n edustajaa, joilla oli kokemuksia biohajoavista katteista. Haasteina mainittiin biohajoavien katteen kestävyys levityksessä, maan alle taitettavien reunojen nopea hajoaminen, jolloin kate voi lähteä tuulen mukana lentoon, sekä tiettyjen rikkakasvien kasvaminen katteen läpi. Nämä kokemukset olivat kuitenkin yli 5 vuotta vanhoja, joten materiaalien kehitys on saattanut mennä eteenpäin

Taulukossa 21 esitetään perinteisiä muoveja korvaavien katemateriaalien ominaisuuksia ja huomiotavia seikkoja niitä käytettäessä, ja Taulukossa 22 on esitetty korvaavien katepeitteiden materiaalin raaka-aineiden saatavuutta, riittävyttä ja hintaa. Taulukossa 23 on esitetty tiivistelmä korvaavien katepeitteiden hyvistä ja huonoista puolista verrattuna perinteisiin ratkaisuihin.

Taulukko 21. Korvaavien ja korvattavien suojamateriaaliratkaisujen ominaisuudet.

	Biohajoa maaperässä (kynnettävissä)	Jos ei biohajoa maaperässä, onko kierrätettävä	Tutkimuksen mukaan riittävät ominaisuudet	Paksuus	Mekaaniset ominaisuudet	Tiheys (g/cm ³)	Huomioitavaa 1	Huomioitavaa 2
Referenssi: PE filmistä valmistettu katepeite	Ei	Kyllä	Referenssi	35±20 µm	Ref.	0,92 ± 0.02	PE laji LDPE tai LLDPE	
Orgaaninen materiaali kuten olki, vesiyhasintti, kuorihake...	Kyllä	-	Kyllä/ Ei	5 cm			Saatavuus ja jakeluverkko voivat olla ongelmallisia, jos ei tule viljelijältä itseltään.	Kuorihake ei sovi mansikalle, koska roskaa marjaa. Olki sopii
Paperi-pohjainen katepeite, esim. Walkin AgriPap ja Tarha paperikate/ Schetelig Oy	Kyllä	-	Kyllä, mutta ei kaikille kasvilajeille *	100 µm	OK	100 g/m ²	Schetelig'in Tarha paperikatteen paino 80 g/m ² Hinta: Walkin edustaja arvioi hinnan noin kaksinkertaiseksi, kun edullisemmat käyttökustannukset (muovikatteen poistaminen) otetaan huomioon. Jos tätä työtä ei oteta huomioon, Walkin katteen hinta on kolminkertainen.	Paperipohjainen katepeite ei kestä hyvin koneellista levitystä *Salonen et al. 2017
Tärkkelys + polyesteri, esimerkituote Mater-Bi M15	Kyllä	-	OK**	15 µm	OK	n. 1,3	Mater Bi:n tiheys 1,23–1,29, lähde: http://www.patilux.com/wp-content/uploads/2015/01/Mater-Bi_EN_v1-2.pdf	Katekalvon reunat taitetaan maan alle. Kun maan alla oleva osa biohajoaa, jää loppuosa irralliseksi ja lähtee lentoon. ⁹²
PLA + polyesteri, esimerkituote Ecovio M12	OK	-	OK**	12 µm	OK	1,4	Tiheys BASFin tuotteelle Ecovio M2351, josta katefilmit valmistetaan	*Salonen et al. 2017
Bioska, 1-vuotinen katekalvo	Kyllä (valmistajan mukaan)	-	Kyllä*/ Ei ***	15 µm	OK	arvio 1,1	Valmistaja ei anna tarkkoja kemiallisen koostumuksen tietoja, kertoo ainoastaan olevan biopohjainen materiaali. Tiheys arvioitu sillä perusteella, että voi olla monen biohajoavan polymeerin seos kuten Ecoflex/Basf, jonka tiheys on 1,1.	**Briassoulis et al. 2018 ***Marjanviljelijöillä kokemukset biomuovikatteen käytöstä ja kestävydestä viljelyssä vaihtelevat. Ne eivät esimerkiksi mansikanviljelyssä ole olleet tarpeeksi kestäviä. Biohajoavaa kalvoa
Bioska, monivuotinen katekalvo			Kyllä*/ Ei ***	35 tai 45 µm	OK	arvio 1,1	Valmistaja ei anna kemiallisen koostumuksen tietoja, kertoo ainoastaan, että biopohjainen materiaali. Ks yllä.	

⁹² Asiantuntijahaastattelu

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2022

BioAgri (Mater-Bi pohjainen)	Kyllä ☐	-	-	15 µm	OK	n. 1,3	Hankkijan mukaan voidaan levittää maahan samalla laitteella kuin perinteinen PE-muovi, kireyttä syytä hie- man vähentää. ☐EN 13432 ja ASTM D6400 mukaisesti.	käytetään enemmän yksivuotisilla viljel- millä. ⁹³
Referenssi: PP-kuitukangas	Ei	Kyllä	Referenssi			0,91	10 to 50 g/m ² ⁹⁴ 50 g/m ² (non-woven) ⁹⁵ Woven: 70 g/m ² -200 g/m ² ⁹⁶	Katetekstiili on kestävämpi kuin kate- kalvo.
PLA-kuitukangas	Ei/Kyllä	Ei	Kyllä				Etuna PP-tekstiiliin biopohjaisuus. Biohajoavuus maa- perässä voidaan joidenkin tutkimusten mukaan saa- vuttaa sopivien hajottajien läsnä ollessa. ⁹⁷	
PLA+PP-kuitukangas	Ei	Ei	Kyllä				Etuna PP-tekstiiliin osittainen biopohjaisuus. Maape- rän syntyy mikromuovia, mikäli ei kerätä pois.	
Luonnonkuitu-tekstiilit (juutti, kookoskuitu, villa jne.)	Kyllä (pitkä aika)	-	Kyllä				Näitä markkinoidaan maataloustekstiileinä pääosin muihin kuin katesovelluksiin, mutta myös kateteksti- leiksi.	Haastatellut henkilöt eivät olleet näitä käyttäneet.

⁹³ <https://muovitiekartta.fi/toimenpiteet/tehostetaan-maatalous-ja-puutarhamuovien-kierratysta-ja-korvaamista/>

⁹⁴ Spun bonded (non-woven) floating row cover DOI: 10.5897/AJB10.2538

⁹⁵ Weed control textile <https://www.groundcoversolutions.co.uk/pages/technical-data-sheets#weedtex-data-sheet>

⁹⁶ <https://www.wiremeshofchina.com/ground-cover-cloth/667.html>

⁹⁷ Hablot et al. Journal of Polymers and the Environment volume 22, pages 417–429 (2014)

Taulukko 22. Korvaavien katepeitteiden materiaalin raaka-aineiden saatavuus, riittävyys ja hinta.

Perinteinen materiaali	Korvaava materiaali	Raaka-aineet	Saatavuus, riittävyys ja hinta
PE	Orgaaninen, kiinteä aines	Suomi: Kuorihake (mänty, kuusi), olki, järvi-ruoko; Muualla myös muut luonnonkuidut: öljypalmu, hamppu, juutti, kookos, kaakao	Saatavuus vaihtelee alueellisesti ja paikallisesti. Kuljetuskustannukset mahdolliselle käyttöpaikalle ratkaisevat hinnan ja kannattavuuden.
	Paperipohjainen (Agripap)	Voimapaperi (n. 90 %) + synteettinen lakka (+ hiilimustaväri). Lakan tarkka koostumus ja raaka-aineet eivät ole selvillä, mutta pieni osa niistä on fossiilista, joka voitaisiin korvata bioraaka-aineilla,	Periaatteessa tuotetta olisi hyvin saatavilla, jos olisi kysyntää. Suurin este hinta: Agripap n. 3-kertaa kalliimpaa kuin PE-muovikalvo. Jos muovin keräämisen kustannukset otetaan mukaan, noin 2-kertaa kalliimpaa. Selvästi paksumpaa ja painavampaa kuin PE-kate, ts. rullia tarvitaan enemmän, mikä lisää ajanmenekkiä levittämisessä.
	Mater-Bi: Tärkkelys + synteettinen polyesteri (PBAT/PCL/ PBAT&PCL)	Maissitärkkelys+kasviöljyjohdannaiset+synteettinen polyesteri (PBAT).	Hyvin saatavilla Suomessa ja Euroopassa. PBAT kallista, mikä nostaa hintaa.
	PLA + synteettinen polyesteri (BASF ecoflex) + lisäaineet (epäorg) = BASFin ecovio M2351, joka on kokonaan kompostoitava	PLA: maissitärkkelys (tai maniokki) Synteettinen polyesteri (BASF ecoflex): PBAT, jonka raaka-aineet yleensä fossiilisia	Hyvin saatavilla Suomessa ja Euroopassa
	Bioska (Bioska Film 302/402)	"Pääraaka-aineet: maissi- ja perunatärkkelys"	Hyvin saatavilla Suomessa
	BioAgri (Mater-Bi-pohjainen)	Sama kuin Mater-Bi, ks. yllä	Hyvin saatavilla Suomessa
PP-kuitukangas	PLA-biokangas	PLA: yl. maissi tai sokeriruoko.	
	PLA & PP	PLA, ks. yllä	
PE/PP-kuitukangas	Nestemäinen (pyrolyysiöljy)	Useita mahdollisia raaka-aineita, erityisesti paju	Ei kaupallisesti saatavilla. Tuotantoprosesseja kehitetään edelleen Suomessa, laadussa ja kustannuksissa haasteita. Kaupallistaminen mahdollista 2020-luvulla mutta vaatii investointeja ja riskinsietokykyä.

Taulukko 23. Korvaavien katemateriaalien plussat ja miinukset verrattuna perinteiseen PE-katefilmiin. Merkkien selitykset: '—' huonompi, '+' parempi, '0' samaa tasoa, '?' tietoa ei käytettävissä.

Korvaavien katemateriaalien plussat ja miinukset verrattuna perinteiseen PE-katefilmiin	Uudelleen-käyttöaste	Uusiokäyttöaste	Energia-käyttö	Kaatopaikkasi-joitus	Levitys maahan	Kestävyys 1-vuotisessa viljelyssä	Kestävyys monivuotisessa viljelyssä	Satokauden päätteeksi suoritettavat toimenpiteet	Sadon määrä, rikkakasvien esto	Hinta
Perinteinen muovikate (PE)	0 %	~20 % MTK:n arvio maatalousmuoveille	~80 %	ei tiedossa	ref. Levitys-laitteet suunniteltu PE-kalvolle	ref. hyvä kesto	ref. (hyvä kesto)	ref. (Kerättävä pois)	ref.	ref.
Katepaperi (Walki)	0 % ei tarkoitettu käytettäväksi uudelleen	0 % ei tarkoitettu kierrätettäväksi vaan maatu- vaksi	0 %	0 %	0 / — Levitys onnistuu vain osalla laitteista. Kasvualusta muokattava tasaiseksi.	0, riittävä kesto	— ei sovellu	+ Ei pois keräystä	0 (+)	—
Mater-BI (esim. BioAgri)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 / — sama kuin yllä	0, riittävä kesto (vaihtelee kasvila- jin mukaan)	—	+	0 (+)	0
Bioska	0 %	0 %	0 %	0 %	0 / — sama kuin yllä	0, riittävä kesto (vaihtelee)	0 soveltuu	+	0 (+)	0
PLA+ polyesteri (esim. Bio-Flex)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 — sama kuin yllä	0, vaihtelee	?	+	0 (+)	?
Orgaaninen materiaali kuten olki	0 %	0 %	0 %	0 %	0 erilainen levitystapa	0	—	+	0	+ omalta pellolta

8.5.5. Muovisten katepiteiden kierrätys

Suomessa maataloilla arvioidaan syntyvän vuosittain 12 000 tonnia jätemuovia. Vain pieni osa muovista päätyy kierrätykseen. MTK on arvioinut, että maataloilta kerättävästä muovista vain viidennes päätyy kierrätykseen ja uusiomuoviksi⁹⁸. Katemuovit ja rehupaalien suojamuovit eivät ole tällä hetkellä tuotevastuun piirissä mutta muoviset lannoitesäkit ovat.

Projektin aikana haastattelimme MTK:n tutkimusprojektin vetäjää, MTK:ssa aktiivisesti toimivaa maatalousyrittäjää, ProAgrian edustajaa, käytettyjä maatalousmuoveja keräävän ja murskaavan yrityksen edustajaa sekä murskatusta maatalousmuovista kierrätysmuovituotteiden raaka-aine-granulaatteja tekevän yrityksen edustajaa. Havaintoja haastatteluista:

- Maatalousyrittäjällä ja MTK:n edustajalla oli käsitys, että kierrätetyllä katepiteemuovilla ei ole markkinoita, josta syystä sitä ei haeta kierrätettäväksi. Lajitteluohjeet maatalousyrittäjille eivät ole olleet riittävän selkeät ja vaihtelevat kerääjätahon mukaan. Uutta ohjeistusta on tullut marraskuussa 2021.⁹⁹
- Maatalousmuovin kerääjä kertoi, että he noutavat kyllä katepiteemuoveja pyydettyinä ja kierrätyskelpoisista eristä valmistetusta muovista on kysyntää markkinoilla. Ongelmana on ollut, että katemuovien mukana on ollut muuta muovia kuten tihkuletkuja, jolloin muovierät menevät ei-kierrätyskelpoiseen fraktioon ja edelleen energiahyödyntämiseen (polttoon eri teollisuuslaitoksissa). Kerääjäyritys ei aktiivisesti mainosta keräävänsä katepiteemuoveja. Sen sijaan se mainostaa keräävänsä paalimuoveja, jotka edustavat Suomessa merkittävästi suurempaa maatalousmuovijätteryhmää kuin katepiteemuovit.
- Kierrätetystä maatalousmuovista granulaatteja valmistavan yrityksen edustaja kritisoi tilannetta, jossa maatalousmuoveja (lukuun ottamatta ammattimaisesti markkinoille saatettujen tuotteiden pakkauksia) ei ole sisällytetty tuottajavastuun piiriin, jolloin keräys ei ole pakollista. Hän myös kertoi, että katemuovien seassa on esimerkiksi puun oksia, joiden ympärille muovi on kiertynyt maasta poistettaessa, jolloin muovierää ei voi murskata vaan se menee ei-kierrätyskelpoiseen fraktioon. Laitekehitystarve katemuovien pois keräämiseen on hänen mukaansa ilmeinen.

Johtopäätös haastatteluista on, että tiedonkulku arvoketjussa koskien kierrätystä ei toimi riittävästi.

⁹⁸ <https://yle.fi/uutiset/3-12009854>

⁹⁹ <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/oppaat/muoviopas/>

9. Yhteenveto

Hankkeessa arvioitiin laajasti erilaisten perinteistä muovia korvaavien materiaalien ja ratkaisujen ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia. Erityisesti arvioitiin korvaavien materiaalien ja ratkaisujen käytön potentiaalia perinteisen muovin korvaajina, materiaalien käytettävyyttä ja käyttökohteiden rajoituksia, sekä materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden ominaisuuksia ja vaikutuksia ympäristön kannalta (ml. mahdollinen biohajoavuus ja kompostoitavuus). Myös materiaalien ja niitä sisältävien tuotteiden kierrätettävyyttä ja suhdetta SUP-direktiiviin sekä muihin materiaaleja ja tuotteita koskeviin vaatimuksiin arvioitiin.

Vaikka eri tuoteryhmiin kuuluvien materiaalien ja ratkaisujen ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia on vertailtu keskenään myös aikaisemmissa tutkimuksissa, yleensä kyseessä on ollut vain yksittäisiin tuotteisiin kohdistuneita vertailuja, joiden tuloksia on ollut vaikea yleistää. Tämän hankkeen tarkoituksena oli kokonaisvaltainen tarkastelu, jossa tuoteryhmiä arvioitiin johdonmukaisesti, erityisesti kiinnittäen huomiota eri ratkaisujen toiminnallisuuteen, mikä mahdollisti myös systemaattisen ympäristövaikutusten tarkastelun LCA-menetelmää käyttäen.

Yksi hankkeen tavoitteista oli tarkastella sitä, ovatko mahdolliset korvaavat ratkaisut ympäristön kannalta kestäviä, ja erityisesti sitä, mikä on niiden ilmastovaikutus verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Tähän tarkoitukseen valittiin LCA-lähestymistapa, juuri sen kokonaisvaltaisuuden vuoksi. Tarkasteluun valittu laaja tuotevalikoima mahdollisti aikaisempaa huomattavasti kattavamman ilmastovaikutusten arvioinnin tuoteryhmien sisällä. LCA-tuloksissa korostui erityisesti fossiilisten ja biopohjaisten materiaalien erot laskennallisessa ilmastovaikutuksessa. Tulokset osoittavat, että vaikka biopohjaisten tuotteiden valmistus ei välttämättä ole ilmastoystävällisempää fossiilisiin verrattuna, niiden käytöstä poisto (esim. poltto tai kompostointi) aiheuttaa huomattavasti pienemmät (fossiiliset) kasvihuonekaasupäästöt perinteisiin materiaaleihin verrattuna. Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että tuotteiden sisältämä biomateriaali on aidosti uusiutuvaa, eli sen käyttö ei aiheuta biomassan ja maaperän sisältämien hiilivarastojen pienenemistä. LCA-tarkastelu toi myös esille kierrätyksen ilmastohyödyt: Jos tuote (fossiilinen tai biogeeninen) ohjataan polton sijasta kierrätykseen, poltossa vapautuvan hiilidioksidin määrä luonnollisesti vähenee, ja myös neutseellisen materiaalin korvaaminen kierrätysmateriaalilla tuottaa suuremmat ilmastohyödyt poltosta saatavaan lämpöenergiaan verrattuna.

Hanke tuotti yksityiskohtaisia tuloksia viidelle esimerkkituoteryhmälle, jotka olivat (1) kertakäyttöinen muovinen salaattipakkaus, (2) yksittäispakattu makeistuote, (3) polystyreenivaahdosta valmistettu eristelevy, (4) suojamuovi betonille tai puurakenteelle ja (5) kateviljelyn katepeite.

Tarkasteltavaksi valitut ruokapakkaukset (esimerkkituoteryhmät 1 ja 2) kuuluvat pääosin SUP-direktiivin piiriin, jolloin niihin kohdistuu SUP-direktiivin tuoteryhmäkohtaiset vaatimukset, mikä vaikutti oleellisesti korvaavien materiaalien arviointiin. Tutkimus toi selkeästi esiin sen, että ruokapakkauksiin sopivia biopohjaisia korvaavia muovilajeja ja kuitupohjaisia materiaaleja löytyy huomattavan useita. Niiden laajamittaisessa käyttöönotossa on monia hidasteita, joista esimerkkeinä monien korvaavien materiaalien korkeampi hinta ja rajoitettu saatavuus, sekä nykyisen muovinkierrätysprosessin asettamat esteet niiden kierrätykselle uusiksi tuotteiksi (jolloin siirtyvät energiajätteeksi).

Salaattipakkausten osalta pakkauksen ollessa kertakäyttöinen, myös fossiilista muovia korvaavat muovimateriaalit kuuluvat SUP-direktiivin alaisiin materiaaleihin. Kuitupohjaisista korvaavista vaihtoehdoista muovipinnoitetut ovat myös SUP-direktiivin vaatimusten kohteena, mutta

markkinoille on jo tullut kokonaan muoviton puristekuitutuote. Markkinoilla olevien dispersiopinnoitetusta kartongista valmistettujen pakkausten osalta tulkinta direktiivin mukaisuudesta on vielä (11/2021) epävarma. Metallipakkauksissa haasteina ovat puolestaan paino ja mahdolliset ympäristövaikutukset.

Jos pakkaus voidaan suunnitella uudelleenkäytettäväksi, voidaan korvaaviin materiaaleihin sisällyttää myös muita Taulukossa 4 esiteltyjä uusiutuvista raaka-aineista lähtöisin olevia materiaaleja, kuten biomuoveja sellaisenaan tai biomuovipinnoitteita antamaan tarvittavat suojausominaisuudet. Tällöin pääpaino on materiaaleilla, joille on jo olemassa oleva kierrätyslogistiikka ja uudelleenkäyttö, kuten niin sanotut drop-in-biomuovit bio-PE ja bio-PET, sekä tulevaisuudessa myös bio-PP tai PLA, edellyttäen, että PLA-materiaalivirrat muodostuvat tarpeeksi suuriksi erilliskeräyksen kustannustehokkuuden kannalta.

Korvaavien biopohjaisten salaattipakkausten ilmastovaikutukset eivät aina ole materiaalin valmistuksen osalta pienempiä, kuin vastaavien fossiilisten tuotteiden, ja ratkaisujen erot tulevatkin yleensä esille käytöstä poiston yhteydessä. Koska fossiilisista muoveista valtaosa poltetaan, poltosta vapautuvat fossiilisen CO₂:n päästöt lisäävät merkittävästi ilmastovaikutusta, ja näin kokonaisvaikutus muodostuu suuremmaksi, kuin valtaosalla korvaavista biopohjaisista ratkaisuista, joilla polton päästöjä ei lasketa mukaan ilmastovaikutukseen. Kuten edellä yleisesti todettiin, myös ruokapakkauksilla käytöstä poistamisessa kierrätykseen ohjaamisella on suurempi ilmastohyöty kuin poltossa vapautuneen energian hyödyntämisellä, koska polton fossiiliset CO₂-päästöt vähenevät, ja kierrätysmateriaali korvaa korkeapäästöistä neitseellistä materiaalia.

Yksittäispakatun makeistuotteen (esimerkiksi suklaapatukka) pakkauksella on tyypillisesti korkeat vaatimukset kosteus-, rasva- ja kaasusuojauksen (barrier-ominaisuudet) suhteen. Säilytysajat voivat olla jopa kuukausia vaihtelevissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa, ja tuona aikana tuotteen tulisi säilyä muuttumattomana. Tällä hetkellä tyypillisin käytössä oleva pakkaus on biaksiaalisesti orientoitua polypropeenaa, joka kuuluu SUP-direktiivin alaisiin materiaaleihin.

Yksittäispakatun makeistuotteen pakkauksen suunnitteleminen sellaisenaan uudelleen käytettäväksi on hyvin vaikeaa, jolloin vaihtoehtoiksi irtomyynnin lisäksi jäävät lähinnä erilaiset paperipohjaiset ratkaisut, joihin barrier-ominaisuudet on tuotu muovittomilla pinnoitteilla, kuten biovahat ja mineraali- tai metallipinnoitteet. Tällaisia pakkauksia on jo vähitellen tulossa markkinoille. Myös ratkaisut, jotka perustuvat regeneroituun selluloosaan voivat tulla kyseeseen. Yksittäispakattujen makeistuotteiden pakkauksilla on suuri todennäköisyys päätyä luontoon, jolloin olisi tärkeää, että se hajoaa helposti luonnossa aiheuttaen mahdollisimman vähän mikromuovihaittaa tai kemikaalihaittaa. Biomuoveista löytyy useita esterityyppejä jopa meressä hajoavia ratkaisuja joko paperin pinnoitukseen tai käytettäväksi sellaisenaan, esimerkiksi PHBV, PHBH tai PBS.

Ilmastovaikutusten osalta fossiilisen materiaalin ja biopohjaisten vaihtoehtojen erot eivät ole makeiskääreissä yksiselitteisiä. Regeneroituun selluloosaan perustuva ratkaisu näyttää tarkastelussa suhteellisen korkeapäästöiseltä, erityisesti pinnoitetun materiaalin tapauksessa, kun taas paperipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat samaa suuruusluokkaa tai pienempiä kuin fossiilisen materiaalin, mihin vaikuttaa fossiilisten CO₂-päästöjen vähäisyys käytöstä poiston yhteydessä. Biomuovipohjaisten ratkaisujen päästöt ovat kohtalaisen suuret, johtuen korkeapäästöisestä valmistusprosessista.

Vaahdotettua polystyreeniä käytetään rakentamisessa lämmöneristeenä, äänieristeenä ja routasuojauksena. Polystyreenipohjaisia eristeitä valmistetaan käyttökohteen mukaan: käyttökohde, kuten seinä-, lattia-, katto- ja routaeristäminen, määrittää eristeen tekniset vaatimukset. Lämmöneristykseen lisäksi eristeeltä voidaan vaatia myös hyvää puristus- tai taivutuslujuutta,

keveyttä, kosteus- ja kuormituskestävyyttä sekä sulatus- ja jäädytyskestävyyttä. Tuotteiden ominaisuuksissa on myös valmistajakohtaisia eroja. Rakennustuotteiden vertailu voidaan toteuttaa vain käyttämällä ratkaisuihin oikeita eristetyyppejä ja samoja toiminnallisia ominaisuuksia. Tässä työssä vertailut on tehty rakennetyypeittäin, ja ominaisuutena on ollut rakenneratkaisuihin sama lämmöneristekyky (rakenteen U-arvo). Rakenteiden käyttövaiheen suorituskyvyn yhdenmukaisuutta ei voitu muilta osin tarkastella, koska osa materiaaleista on vasta tulossa markkinoille.

Yläpohjaratkaisussa polystyreenivaahtoeristeen vaihtoehtoina voidaan käyttää vaahtorainattua puukuitueristettä (foam formed insulation) tai kevytsoraa. Puukuitueristeen ominaispaino on suurempi kuin polystyreenieristevaahdon, ja yläpohjan U-arvon olleessa sama puukuitueristettä joudutaan käyttämään enemmän. Toisessa vaihtoehdossa lämmöneristekerroksen paksuutta joudutaan kasvattamaan, jotta sama lämmöneristekyky saavutettaisiin. Yläpohjan eristys vain kevytsoralla kasvattaa yläpohjarakenteen kerrospaksuutta vielä enemmän. Tällaista ratkaisua voidaan käyttää, jos rakentamisen korkeudelle ei ole asetettua raja-arvoja.

Seinien osalta vaihtoehtoiset eristeratkaisut kasvattavat rakennekerroksen paksuutta (vaahtorainattu puukuitueriste, ekovillalevy ja mineraalivillaeriste) verrattuna polystyreenieristeen käyttöön. Kun käytetään paksumpia rakennekerroksia, myös rakennuksen pohjapinta-ala on isompi. Jos rakennuksen pohjapinta-ala on määritetty, rakenteen paksuuden kasvu sisäpuolelle vähentää sisätilojen pinta-alaa.

Routasuojauksen käyttökohde sekä paikkakunta määrittävät mitä eristetyyppejä pitää käyttää. Vaihtoehdot polystyreenivaahdon käytölle ovat kevytsora, vaahtolasimurske- tai levy. Routaeristykseen käyttömäärään vaikuttaa alapohjan eristystaso.

Pihatien routaeristeen laskentatapaus osoittaa, että kevytsoraeristeen käyttö lisää polystyreenieristeen käyttöön verrattuna eristekerroksen paksuutta. Routaeristekerroksen paksuuden kasvulla ei ole samanlaista vaikutusta kuin talonrakentamisessa. Vaahtolasia käytettäessä kerrospaksuus ei kasva. Kuitenkin molemmissa vaihtoehdoissa (kevytsora ja vaahtolasi) materiaalien käyttömäärät ovat isompia, koska tuotteiden tilavuuspainot ja eristyskyvyt ovat hyvin erilaiset kuin polystyreenillä.

Polystyreenieriste on teknisesti hyvä ratkaisu talon eristämiseen sekä routasuojaukseen. Ennen korvaavien tuotteiden käyttöönottoa täytyy varmistaa niiden soveltuvuus käyttökohteeseen. Täytyy varmistaa, että vaihtoehtoinen tuote täyttää kaikki muutkin kohteessa vaadittavat ominaisuudet kuin vain lämmöneristyskyvyn.

Yleisesti biopohjaisilla eristeratkaisuilla on pienempi valmistuksen, kuljetuksen ja käytöstä poiston ilmastovaikutus kuin fossiiliseen muoviin (XPS, EPS) perustuvilla ratkaisulla. Tässä merkittävin yksittäinen tekijä on käytöstä poiston päästöt ja niiden yhteydessä poltettaessa vapautuva fossiilinen CO₂. Ei-fossiilisista ratkaisuista kevytsoraan perustuvat ratkaisut ovat myös suuri-päästöisiä, mikä johtuu korkeista valmistuksen päästöistä, ja siitä, että kevytsoraa tarvitaan suhteellisen suuria määriä vaadittavan toiminnallisuuden saavuttamiseksi.

Rakentamisen kalvomuvia voidaan mahdollisesti korvata voimaperin kaltaisella tuotteella. Kun käyttökohteena on betonipinnan suojaus, täytyy varmistaa, että kosteuden haihtumisen betonipinnalta on estetty tai minimaalinen. Pakkausmuovin korvaamisen paras vaihtoehto on käyttää kierrätysmuovia.

Kierrätetylle hyvälaatuiselle PE-granulaatille löytyy markkinoita. Haasteena materiaalin hyödyntämiseksi on uusiogranulaatin laatu sekä uusiotuotteen valmistusprosessi. Rakentamisen kalvomuovien keräys ja kierrätys tulee lähivuosina kasvamaan green deal -sopimuksien myötä.

Maanviljelyksen katepeite antaa viljelijälle mahdollisuuden parantaa sekä laadullisesti, että määrällisesti satoa ja vähentää tuholaistorjunta-aineiden, lannoitteiden ja kasteluveden käyttöä. Monissa maissa maaperään jäävä biohajoamaton katekalvo on ongelma mm. siksi, että viljelykasvien tuotanto laskee maaperään kertyvän hajoamattoman muovimäärän kasvaessa. Kateviljelyssä perinteisesti katepeiteinä käytetyille fossiilipohjaisille muovikalvoille on saatavissa korvaavia katekalvoja, jotka ovat bioperäisiä ja biohajoavia. Niiden hinnat ovat kuitenkin hieman kalliimpia kuin perinteisten muovikalvojen. Mikromuovin vaikutuksesta ihmisen ja eliöstön hyvinvointiin on useita tutkimuksia meneillään. Maassa biohajoavaksi suunniteltujen muovimateriaalien hajoaminen etenee myös makro- ja mikromuovikappaleiden syntymisen kautta, mutta niiden hajoaminen hiilidioksidiksi, vedeksi, uudeksi biomassaksi (mikrobien kasvuunsa käyttämät yhdisteet) ja mineraalisuoloiksi on oleellisesti nopeampaa (kuukausista muutamiiin vuosiin) kuin perinteisillä muoveilla (satoja vuosia). On kuitenkin myös huomioitava, että biohajoavien muovien hajoamistuotteiden mahdollisesta haitallisuudesta maaperässä on löydetty viitteitä, mutta ekotoksisuustutkimuksia tarvitaan vielä lisää.

Korvaavia paperipohjaisia katepeitteitä on myös markkinoilla. Paperisten katepeitteiden etu on, että päämateriaali paperi ei tuota makro- tai mikromuovia hajotessaan. Paperikate on muovituotteita kaksi tai kolme kertaa kalliimpi, riippuen otetaanko muovikatteen poistokustannukset huomioon vai ei.

Tutkimustulosten ja käyttäjien kokemusten perusteella korvaavat katemateriaalit (sekä biohajoavat katemuovit että paperikatteen) ovat riittäviä ominaisuuksiltaan, mutta ne eivät sovellu kaikille kasvilajeille ja edellyttävät tiettyjä toimintatapamuutoksia maatalousyrittäjiltä. Jos käytetään paksua (väh. 20 µm) perinteistä katemuovikalvoa ja se kerättään satokauden jälkeen tehokkaasti pois maaperästä sekä kierrätetään tehokkaasti uusiksi tuotteiksi, ei biohajoavan katemuovin käytön hyöty ole tämän tutkimuksen perusteella tullut selväksi. Tutkimus kuitenkin toi esiin, että globaalisti tarkasteltuna sekä poiskeräyksessä että kierrätyksessä on puutteita. Suomessa katemuovien kierrätysprosentista ei ole tilastoitua tietoa, mutta haastattelujen perusteella se on erittäin alhainen.

Yleisesti hankkeen tutkimus toi kokonaisvaltaista konkreettista tietoa siitä, mitä asioita on otettava huomioon perinteisen muovin korvaamiseen liittyvissä toimenpiteissä kussakin esimerkituoteryhmässä. Uusien tuotteiden materiaalikoostumukset ja ympäristövaikutukset vaativat kuitenkin lisää selvityksiä, ja uutta tutkimusta tarvitaan erityisesti siihen, miten biopohjaisten tuotteiden valmistamiseen liittyvät biomassan ja maaperän hiilivarastojen muutokset (sekä hiilipäästöt että hiilen sitominen) saataisiin paremmin huomioitua tuotetason ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Viitteet

- Bokkers, B.G.H., van de Ven, B., Janssen, P., Bil, W., van Broekhuizen, F., Zeilmaker, M. & Oomen, A.G. 2018. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in food contact materials. RIVM Letter Report 2018-0181. National Institute for Health and the Environment. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0181.pdf>
- Briassoulis, D. & Giannoulis, A. 2018. Evaluation of the functionality of bio-based plastic mulching films, *Polymer Testing* 67: 99–109, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.019>
- Carlsson, A. 2002. Kartläggning och utvärdering av plaståtervinning i ett systemperspektiv. Stockholm, Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute. IVL report B1418.
- Dahlén, L., Vukicevic, S., Meijer, J.-E. & Lagerkvist, A. 2007. Comparison of different collection systems for sorted household waste in Sweden. *Waste Management*. 27(2007).
- Deshwal, G.K., Panjagari, N.R. & Alam, T. 2019, An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns. *Journal of Food Science and Technology* 56(10): 4391–4403. doi: [10.1007/s13197-019-03950-z](https://doi.org/10.1007/s13197-019-03950-z) ;
- de Matos Costa, A.R., Crocitti, A., de Carvalho, L.H., Carroccio, S.C., Cerruti, P. & Santaga, G. 2020. Properties of Biodegradable Films Based on Poly(butylene Succinate) (PBS) and Poly(butylene Adipate-co-Terephthalate) (PBAT) Blends *Polymers* 12: 2317. DOI: 10.3390/polym12102317
- Emmert, K., Amberg-Schwab, S., Braca, F., Bazzichi, A., Cecchi, A. & Somorowsky, F. 2021. bioORMOCER(R)-Compostable Functional Barrier Coatings for Food Packaging. *Polymers* 13: 1257. DOI: 10.3390/polym13081257
- Glenn, G., Shogren, R., Jin, X., Orts, W., Hart-Cooper, W. & Olson, L. 2021. Per- and polyfluoroalkyl substances and their alternatives in paper food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20: 2596-2625. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12726>
- Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., Nordin, A., Schoumacher, C. & McNeill, A. 2019. The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS. *TemaNord* 2019:516. Nordic Council of Ministers <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf>
- Heikkinen, J. & Airaksinen, M. 2011. Maanvastaisen alapohjan routasuojaus. VTT-R-04025-11
- Hubbe, M.A. & Pruszynski, P. 2020. "Greaseproof paper products: A review emphasizing eco-friendly approaches," *BioRes*. 15(1): 1978-2004
- Häkkinen, T., Kuittinen, M & Vares, S. 2019 *Plastics in buildings – A study of Finnish apartment buildings and day-care centre*. Ministry of the Environment.
- Jian, J., Xiangbin, Z. & Xianbo, H. 2020. An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene adipate-co-terephthalate)-PBAT, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 3: 19-26. DOI: 10.1016/j.aiepr.2020.01.001

- Kasurinen, H., Uusitalo, V. & Leppäkoski, L. 2021. Oljen pellolta poistamisen ympäristöllisen kestävyuden näkökulmia. LUT Scientific and Expertise Publications: Raportit ja selvitykset – *Reports* 108. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-669-6>
- Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N. & Brandt, N. 2010. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 55(2010): 246–259.
- Liljenström, C. & Finnveden, G. 2015. Data for separate collection and recycling of dry recyclable materials. Division of Environmental Strategies Research, KTH
- Meereboer, K.W., Misra, M. & Mohanty, A.K. 2020. Review of recent advances in the biodegradability of polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites (Critical Review), *Green Chem.* 22: 5519-5558. DOI: 10.1039/D0GC01647K
- Naser, A.Z., Deiab, I. & Darras, B. M. 2021. POLY(lactic acid) (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHAs), green alternatives to petroleum-based plastics: a review. *RSC Adv.* 11: 17151. DOI: 10.1039/d1ra02390j
- Neelam, A., Ishteyaq, S., Omm-E-Hany & Mahmood, S. J. 2019. A Comparative Study of Physical Behaviour and Biodegradation of Metallized and Non-Metallized Polypropylene Films. *Current World Environment* 2: 267-275. DOI: 10.12944/CWE.14.2.11
- OECD. 2020. PFASs and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses, OECD Series on Risk Management, No. 58, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.
- Qin, M., Chen, C., Song, B., Shen, M., Cao, W., Yang, H. Zeng, G. & Gong, J. 2021. A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: Another ecological threat to soil environments?, *Journal of Cleaner Production* 312: 127816.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energialähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-214-0>
- Policastro, G., Panico, A. & Fabbricino, M. 2021. Improving biological production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) co-polymer: a critical review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 20: 479-513. DOI: 10.1007/s11157-021-09575-z
- Pöhler, T., Jetsu, P., Fougeron, A. & Barraud, V. 2017. Use of papermaking pulps in foam-formed thermal insulation materials. *Paper Physics. Nordic Pulp & Paper research Journal* Vol. 32 no 3. [10.3183/NPPRJ-2017-32-03-p367-374](https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2017-32-03-p367-374)
- Raadal, H.L., Brekke, A. & Mohdal, I.S. 2008. *Miljøanalyse av ulike behandlingsformer for plastemballasje fra husholdninger*. Fredrikstad, Norway: Østfoldforskning AS.
- Rafiqah, S.A., Khalina, A., Harmaen, A.S., Tawakkal, I.A., Zaman, K., Asim, M., Nurrazi, M.N. & Lee, C.H. 2021. A Review on Properties and Application of Bio-Based Poly(butylene Succinate). *Polymers* 13: 1436. DOI: 10.3390/polym13091436
- Rigamonti L., Grosso M. & Sunseri M. 2009. Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14: 411–419.

- Salonen, J., Suojala-Ahlfors, T., Tiilikkala, K., Kempainen, R. & Eskola, A. 2017. Biohajoavia katteita vihannesten rikkakasvintorjuntaan. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2017. Helsinki. 26 s.
- Schmidt, A. & Strömberg, K. 2006. Genanvendelse i LCA – systemudvidelse. *Miljønyt Nr 81 2006*. Danish Environmental Protection Agency.
- Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J.K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J.-C., Nebbia, C.S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Vleminckx, C., Wallace, H., Barregård, L., Ceccatelli, S., Cravedi, J.-P., Halldorsson, T.I., Haug, L.S., Johansson, N., Knutsen, H.K., Rose, M., Roudot, A.-C., Van Loveren, H., Vollmer, G., Mackay, K., Riolo, F. & Schwerdtle, T. 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 18(9). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Schröpfer, S.B., Bottene, M.K., Bianchin, L., Robinson, L.C., de Lima, V., Jahno, V.D., da Silva Brud, H. & Ribeiro, J.L. 2015. Biodegradation evaluation of bacterial cellulose, vegetable cellulose and poly(3-hydroxybutyrate) in soil. *Polimeros* 25(2): 154–160. DOI: 10.1590/0104-1428.1712
- Serrano-Ruiz, H., Martin-Closas, L. & Pelacho, A.M. 2021. Biodegradable plastic mulches: Impact on the agriculturalbiotic environment. *Science of the Total Environment* 750: 141228.
- Sängerlaub, S., Brüggemann, M., Rodler, N., Jost, V. & Bauer, K.D. 2019. Extrusion Coating of Paper with Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-valerate) (PHBV)-Packaging Related Functional Properties. *Coatings* 9: 457. DOI: 10.3390/coatings9070457
- Talonrakennuksen routasuojausohjeet. 2007. Rakennustieto Oy.
- Thellen, C., Coyne, M., Froio, D., Auerbach, M., Wirsén, C. & Ratto, J.A. 2008. A Processing, Characterization and Marine Biodegradation Study of Melt-Extruded Polyhydroxyalkanoate (PHA) Films, *J. Polym. Environ.* 16: 1–11. DOI: 10.1007/s10924-008-0079-6
- Trier, X., Granby, K. & Christensen, J.H. 2011. Polyfluorinated surfactants (PFS) in paper and board coatings for food packaging. *Environmental science and pollution research international* 18(7): 1108-1120. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0439-3>
- Trier, X., Taxvig, C., Rosenmai, A.K. & Pedersen, G.A. 2017. PFAS in paper and board for food contact: Options for risk management of poly- and perfluorinated substances. *TemaNord* 2017: 573. Nordic Council of Ministers. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1201324/FULLTEXT01.pdf>
- Triantafillopoulos, N. & Koukoulas, A.A. 2020. The Future of Single-use Paper Coffee Cups: Current Progress and Outlook, *BioResources*, (3), 28 pages. (https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_15_3_Review_Triantafillopoulos_Single_Use_Paper_Cups)



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000