

**KALVOMUOVI-  
JÄTTEEN MÄÄRÄ  
JA LAATU  
ASUINKERROSTALO-  
HANKKEISSA**

9/2022

MUOVITIEKARTTA SUOMELLE

# Tiivistelmä

Kirjoittajat: Antti Peltokorpi ja Krishna Chauhan, Rakennustekniikan laitos, Aalto-yliopisto.  
[antti.peltokorpi@aalto.fi](mailto:antti.peltokorpi@aalto.fi)

Rakentamisen pakkauksista ja suojuuksista syntyy paljon kalvomuovijätettä, joka perinteisesti on päättynyt sekajätteeksi tai polttoon. Kalvomuovin kierrätysmenetelmät ovat kehittyneet ja nykyisin erilliskerätty kalvomuovi voidaan jatkojalostaa raaka-aineeksi. Tietoa työmailla syntyvän kalvomuovijätteen määrästä ja laadusta on kuitenkin ollut vähän saatavilla.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin rakennustyömailla syntyvän kalvomuovijätteen määrää ja laatua asuinkerrostalouudiskohteissa. Tavoitteena oli kehittää mallinnustyökalu, jonka avulla hankkeeseen ryhtyvät voivat arvioida kalvomuovijätteen määrää ja ajoittumista hankkeen suunnitelmien pohjalta. Tutkimus liittyy Rakentamisen muovit green deal-sopimuksen 2020-2027 toimeenpanoon ja sen rahoittajina toimivat Ympäristöministeriö ja Smart & Clean -säätiö.

Tutkimuksessa analysoitiin kolmea betonielementtikohdetta, joissa toteutettiin kalvomuovijätteen erilliskeräystä. Lisäksi tutkittiin verrokkikohteena yhtä puukerrostalokohdetta. Betonielementtikohteissa kerättiin kalvomuovijätettä keskimäärin 0,33 kg/bruttoneliö ja 26,2 kg/asunto. Kalvomuovijätettä syntyi eniten sisävalmistusvaiheessa, etenkin kalusteista, ikkunoista ja ovista, laatoituksesta, alakatoista ja suojuuksista. Puukohteet tuottavat betonikohteita enemmän kalvomuovijätettä. Ero syntyy puuelementtien kuljetuksen aikaisesta suojuuksesta.

Tutkimuksen perusteella kalvomuovin värillisyys tai likaisuus voi aiheuttaa merkittäviä esteitä kalvomuovin jatkohyödyntämiselle. Likaisen ja värillisen kalvomuovin osuus oli arviolta 15-30 % kokonaismäärästä. Työssä tunnistettiin useita hyviä käytäntöjä kalvomuovin erilliskeräykselle. Onnistunut erilliskeräys vaatii mm. huolellista ja riittävän aikaista keräyksen suunnittelua, ohjeistusta, käytännöllisiä keräysvälineitä ja eri osapuolten sitouttamista.

Tutkimus oli ensimmäisiä, joissa selvitettiin kalvomuovijätteen määrää ja laatua suomalaisessa asuinkerrostalorakentamisessa. Tutkimus osoitti, että uudisrakentamisessa syntyy paljon kierrätettävää kalvomuovia, vaikka sen osuus rakentamisen jätteiden kokonaismäärästä on suhteellisen vähäinen. Tulosten ja kehitetyn mallinnustyökalu avulla rakennushankkeen eri toimijat ja viranomaiset voivat asettaa tavoitteita kalvomuovin käytölle ja keräykselle ja suunnitella erilliskeräyksen toteuttamista. Suosituksena on, että Rakentamisen muovit green deal-sopimuksen osapuolet sitoutuvat käyttämään mallinnustyökalua ja toimittamaan tiedot toteutuneesta kalvomuovin erilliskeräyksestä mallin kehittäjille, jotta työkalua voidaan jatkuvasti parantaa. Tutkimus osoitti myös, että kalvomuovijätteen määrästä ja lähteistä tarvitaan nykyistä täsmällisempää tietoa. Tuotetoimittajilta ja koko logistiselta ketjulta tarvitaan tarkempaa tuote- ja toimituseräkohtaista tietoa kalvomuovin määrästä pakkauksissa.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
1 Johdanto.....	4
1.1 Tutkimuksen tausta.....	4
1.2 Tutkimuksen tavoitteet .....	5
2 Kirjallisuustutkimus .....	7
2.1 Muovit rakentamisessa ja rakennusjätteessä .....	7
2.2 Kalvomuovit ja niiden käyttö rakentamisessa .....	8
2.3 Kalvomuovijätteen keräys- ja laskentamenetelmät.....	11
2.4 Kalvomuovin kierrätys .....	12
3 Tutkimusmenetelmät.....	14
3.1 Tutkimuskohteiden valinta.....	14
3.2 Kalvomuovijätteen tiedonkeruun vaihtoehdot .....	14
3.2.1 Työmaalle tulevan ja työmaalla lisätyn kalvomuovin mittaaminen (Input) .....	15
3.2.2 Erilliskerätyn kalvomuovijätteen mittaaminen (Output).....	15
3.3 Valitut tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät.....	16
4 Tulokset .....	20
4.1 Kohteiden perustiedot ja kalvomuovijätteen määrät .....	20
4.2 Kalvomuovin mallintaminen tehtävittäin.....	20
4.3 Kalvomuovin mallintaminen rakennusvaiheittain.....	22
4.4 Puu- ja betonikohteiden vertailu .....	24
4.5 Mallinnustyökalun kehittäminen .....	25
4.6 Kalvomuovijätteen laadun arviointi.....	25
4.7 Kalvomuovien erilliskeräys: tunnistettuja haasteita ja parhaita käytäntöjä.....	26
5 Tulosten yhteenvedo ja pohdinta.....	28
6 Johtopäätökset ja suositukset .....	30
Lähteet.....	32

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Muovien käyttöön ja kierrätykseen on kiinnitetty entistä enemmän huomiota sekä median, poliittisten päättäjien, ympäristöliikkeiden että tutkijoiden toimesta (Mikkonen ym., 2020; Häkkinen ym., 2019; Ramboll, 2020; Yle, 2021). Suurimpana huolenaiheena on muovin käytön merkittävä lisääntyminen globaalisti sekä muovien haitallinen vaikutus ympäristöön, ilmastonmuutokseen ja ihmisten terveyteen.

Vaikka rakennusala on toiseksi suurin muovinkuluttaja (Geyer ym., 2017), suurin osa aikaisemmasta tutkimuksesta on keskittynyt muoviin rakennusmateriaalina sekä tämän muovin kierrätysmahdollisuuksiin (mm. Häkkinen ym., 2019; Monahan & Powell, 2011). EU:n tavoitteet muovipakkausten kierrättämiseksi (50 % vuoden 2025 ja 55 % vuoden 2030 loppuun mennessä) nostavat kuitenkin rakentamisen pakkauksissa ja suojauksissa käytetyn kalvomuovin aikaisempaa suurempaan rooliin. Rakentamisessa kalvomuoveja käytetään erityisesti rakennustuotteiden primääri-, sekundääri- ja tertiääripakkauksissa ja sisätyövaiheessa pintojen suojauksessa ja osastoinnissa (Ramboll, 2020).

Kalvomuovijätteen määrästä ja laadusta rakentamisessa ei ole tähän mennessä tehty kattavaa tutkimusta. Muutamissa tutkimuksissa on analysoitu rakennusalan muovipakkausjätettä (esim. Pericot ym., 2014; Pericot & Merino, 2011; Selke ja Culter, 2016). Vaikka tutkijat mainitsevat, että muovipakkaukset olivat pääasiassa kalvomuovia, tarkastellut muovit sisältävät kuitenkin myös muovilevyjä ja muita kovamuoveja (esim. laatikot). Pakkausmuovijätteitä koskevassa tutkimuksessa ei myöskään käsitellä työmaalla lisättyjä kalvomuoveja, kuten esimerkiksi suojauksessa käytettäviä muoveja. Kalvomuovit päätyvät nykyisellään enimmäkseen joko energia- tai sekajätteenä polttoon. Aikaisempien tutkimusten suppeudesta ja puutteista johtuen erillinen kalvomuovijätteen tutkimus on tarpeellista.

Rakennusala on yksi suurimmista muovituotteiden käyttäjistä, mutta työmailla tuotettujen muovien kierrätys on edelleen vähäistä (Ympäristöministeriö, 2020a). Tyypilliset rakentamisen muovilaadut ovat polyeteeni (PE, putket, muovikalvot, viherkaton suodatinkankaat), polypropeeni (PP, putket, suodatin- ja rakennuskankaat), polystyreeni (EPS, eristysmateriaalit), polyuretaani (PUR, runko, katto, lämmöneristeet, äänieristeet) ja polyvinyylikloridi (PVC, kaapelit, kanavat, ikkunankehukset, lattianpäällysteet) (Piispa, 2019).

Suuri osa uudis- ja korjausrakentamisen työmaiden muovijätteestä on kalvomuovia. Kalvomuovien käytön vähentämiseksi, rakennusosalalle on laadittu vapaaehtoinen Green deal -sopi-

mus, jonka tavoitteena on lisätä rakentamisessa käytettyjen kalvomuovista valmistettujen pakkausten ja sisällä käytettävien suojausten uudelleenkäyttöä ja kierrättämistä, lisätä kierrätysmateriaaleista valmistettujen muovien käyttöä rakentamisessa sekä vähentää kestävästi kalvomuovien kulutusta. Rakennusalan Green deal -sopimus on yksi Rakentamisen muovitiekartan toimenpiteistä. Rakentamisen muovitiekartta puolestaan on osa Suomen kansallisen Muovitiekartan toteutusta.

Green deal -sopimuksen osapuolia ovat valtion puolesta Ympäristöministeriö, kuntien puolesta Suomen Kuntaliitto ry ja elinkeinoelämän puolesta Kemianteollisuus ry, Muoviteollisuus ry, Rakennus- ja sisustustarvikekaupan liitto RASI ry, Rakennusteollisuus RT ry, Sähköteknisen Kaupan Liitto ry (STK), Teknisen Kaupan Liitto ry (TKL) ja Ympäristöteollisuus ja -palvelut YTP ry. Sopimuksessa kalvomuovilla tarkoitetaan polyeteenipohjaisia (PE) muoveja, sekä kiriste- ja kutistekalvomuoveja (PE-HD, PE-LD ja PE-LLD), joita käytetään rakentamisen toimitusketjussa ja rakentamisessa pakkaamiseen ja sisällä tapahtuvaan suojaamiseen. (Mikkonen ym. 2020).

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän Aalto-yliopiston toteuttaman tutkimuksen tavoitteena on tuottaa mitattua tietoa työmaalla syntyvän kalvomuovijätteen määrästä ja laadusta. Mitatun tiedon pohjalta voidaan asettaa tavoitteita muovin määrälle ja kierrätykselle sekä kehittää mallinnustyökalua muovijätteen määrän arvioimiselle hankkeen suunnitelmien pohjalta. Kalvomuovin määrää ja laatua on pysyttävä arvioimaan ainakin työvaiheittain (mm. aluerakennus, perustukset, runko, julkisivut ja vesikatto, sisärakennusvaihe) sekä mahdollisesti tarkemmin tehtävittäin, rakennusosittain ja tuotteittain.

Kalvomuovin laadun osalta tutkimuksessa tarkastellaan etenkin muovin puhtautta ja värillisen ja kirkkaan kalvomuovin osuutta. Puhtaudella ja värillisyydellä on merkittävä vaikutus kalvomuovien kierrätettävyyteen ja jatkohyödyntämiseen.

Tutkimus rajautuu kalvomuoveihin, joita käytetään rakennustuotteiden pakkauksissa ja työmaan suojauksessa. Kalvomuovijäte voi sisältää jonkin verran myös rakennukseen pysyvästi tarkoitettua kalvomuovien asennus- ja leikkausjätettä. Tarkastelun ulkopuolella ovat muut muovit kuten muoviastiat ja jätteisiin päätyvät muovituotteet (mm. putket, matot ja laatat).

Koska eri rakennustyyppien tilat ja tuotteet poikkeavat merkittävästi toisistaan, tässä tutkimuksessa keskitytään asuinkerrostalojen uudisrakentamiseen. Uudet asuinkerrostalot muodostavat suhteellisen yhtenäisen tarkastelujoukon, jonka pohjalta voidaan mallintaa kalvomuovien määrää ja laatua riittävän luotettavasti.

Päätutkimuskysymyksenä on:

1. Miten paljon ja minkä laatuista kalvomuovijätettä syntyy asuinkerrostalohankkeissa?

Pääkysymykseen vastataan empiirisellä tutkimuksella useasta asuinkerrostalokohteesta. Tavoitteena on myös mallintaa kalvomuovijätteen lähteitä työvaiheittain ja tuotteittain. Empiirisen tutkimuksen yhteydessä pyritään selvittämään myös parhaat menetelmät kalvomuovimäärä- ja laatutiedon selvittämiseksi. Siksi toisena kysymyksenä onkin:

2. Kuinka kalvomuovijätteen määrää ja laatua voidaan mitata rakennushankkeessa?

Empiirisen tutkimuksen yhteydessä tehdään myös laadullista analyysia työmaiden parhaista käytännöistä liittyen kalvomuovijätteen erilliskeräykseen sekä jätteen vähentämiseen ja kierrättämiseen. Tähän tavoitteeseen liittyvä kolmas tutkimuskysymys on:

3. Mitkä ovat parhaat käytännöt työmaiden kalvomuovijätteen vähentämiseen, erilliskeräykseen ja kierrätykseen?

Uuden tiedon lisäksi, tutkimuksen tavoitteena on tuottaa konkreettinen laskentatyökalu, jonka avulla asuinkerrostalohankkeeseen ryhtyvä voi suunnitelmien pohjalta arvioida kalvomuovijätteen määrää ja lähteitä.

## 2 Kirjallisuustutkimus

### 2.1 Muovit rakentamisessa ja rakennusjätteessä

Plastic European (2020) mukaan vuosina 1950–2019 tuotettiin noin 4000 miljoonaa tonnia muovia. Tämä summa sisältää pääasiassa seuraavia muovityyppejä: polypropylene (PP), polyvinylchloride (PVC), polyethylene (PE) polyethylene terephthalate (PET), polyurethane (PU), polystyrene (PS), and polyester (PES) (Häkkinen ym., 2019; Napier, 2016).

Material Economic:in (2018) mukaan muovin käyttö lisääntyy 10 miljoonalla tonnilla vuodessa, ja sen arvioidaan olevan 800 miljoonaa tonnia vuodessa vuoteen 2050 mennessä. Muoviteollisuus on tiiviisti yhteydessä koko maailmantalouteen: Se on seitsemänneksi eniten lisäarvoa tuottava teollisuuden ala Euroopassa, ja koostuu noin 60 000 yrityksestä, jotka tarjoavat noin 1,5 miljoonaa työpaikkaa arvoltaan noin 350 miljardia euroa (Häkkinen ym., 2019). Muoviteollisuus ry (2021) arvioi, että Suomessa muoviteollisuudessa on lähes 600 yritystä ja ne työllistävät yhteensä yli 10 000 henkilöä.

Muovia käytetään useissa eri sovelluksissa johtuen sen monista edullisista ominaisuuksista, kuten keveydestä, joustavuudesta ja eristävydestä. Geyer ym. (2017) mainitsevat kaikki maanosat kattavassa analyysissään, että noin 45 % muovista käytetään pakkaamiseen, 19 % rakentamiseen, 12 % kulutustuotteisiin, 7 % kuljetuksiin, 4 % elektroniikkaan ja 12 % muihin sovelluksiin.

Muovin kierrättämisessä ja jatkohyödyntämisessä on vielä globaalisti paljon kehitettävää. Geyer ym. (2017) mainitsevat, että hyvin pieni osa (noin 10 %) maapallolla tuotetusta muovista kierrätetään. Hieman suurempi osa hyödynnetään energiana ja valtaosa päättyy kaatopaikalle tai luontoon. Suomalaisten kotitalouksien arvioidaan tuottavan henkilöä kohden keskimäärin noin 15 kiloa muovijätettä vuodessa (Yle, 2020). Vastauksena muovien käytön ja kierrätyksen ongelmaan, Ympäristöministeriö lanseerasi loppuvuodesta 2018 Suomen Muovitieläkartan laajan sidosryhmätyön tuloksena. Muovitieläkartassa ehdotetaan useita toimia muovin vähentämiseen, uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja korvaamiseen (Kosonen & Varis, 2018).

Taulukossa 1 on esitetty eri muovityyppien sovelluskohteita rakentamisessa. Muovin käyttö rakentamisessa on ollut kannattavaa, koska muovi edesauttaa rakennuksen fyysistä terveyttä mm. hyvällä kosteuden ja kaasujen eristyskyvyllään (Schiavoni ym., 2016). Muovia käytetään monissa rakennustuotteissa ja materiaaleissa, kuten lattioissa, ikkunoissa, eristystuotteissa, putkissa, johdoissa ja kalusteissa. Muovia käytetään siis rakennustuotteissa niiden materiaalina, ja lisäksi etenkin kalvomuovia käytetään myös rakennusmateriaalien pakkaamiseen ja suojaamiseen sekä työnaikaisiin suojauksiin työmaalla.

Taulukko 1. Muovityypit ja niiden käyttökohteet rakentamisessa (Awoyera & Adesina, 2020)

Muovityypit	Fyysiset ominaisuudet	Soveltaminen rakentamisessa
HDPE	Jäykkä	Pöydät, tuolit, muovinen puutavara
LDPE	Joustava	Tiilet ja palat
PP	Kova ja joustava	Täyteaineet asfalttiseoksessa
PS	Kova ja hauras	Eristysmateriaali
PET	Kova ja joustava	Kuidut sementtikomposiiteissa
PC	Kova ja joustava	Täyteaineet sementtikomposiiteissa

Rakentamisessa käytetty muovin määrä riippuu merkittävästi rakennustyyppistä, tuotteista ja työvaiheista. Esimerkiksi Monahan ja Powell (2011) arvioivat muovin käytön olevan mallitalotutkimuksessaan 7,4 kg / m<sup>2</sup>. Häkkinen ym. (2019) arvioivat muovimäärää ja -tyyppiä betoni- ja puurunkoisissa kerrostaloissa ja päiväkodeissa. Heidän löydöksensä osoittivat muovimäärän vaihtelevan välillä 6 - 28 kg / m<sup>2</sup>.

Jeffrey esitti vuonna 2011, että noin 1 % koko rakentamisen ja purkamisen jätteestä on muovia (Jeffrey 2011). Taulukossa 2 on esitetty EU:ssa rakentamisen tuottaman muovijätteen kokonaismäärä vuonna 2018 (Plastic Europe, 2019). Vaikka rakennusalalla käytetään useita erityyppisiä muoveja, rakennusjätteissä niistä yleisimpiä ovat PVC, PE-HD, EPS sekä PP.

Taulukko 2. Rakennusmuovijätteen määrä EU:ssa vuonna 2018 (kt) (Plastic Europe, 2019)

Muovityyppi	Jätteen kokonaismäärä	Kierrätys ja energiakäyttö	Hävittäminen ja kaatopaikat
PE-LD	90	70	20
PE-HD	225	164	61
PP	130	95	35
PS	30	21	9
EPS	140	95	45
PVC	910	683	228
Muut	235	172	63
<b>Yhteensä</b>	<b>1760</b>	<b>1300</b>	<b>461</b>

## 2.2 Kalvomuovit ja niiden käyttö rakentamisessa

Kalvomuovin kysyntä kasvaa maailmanlaajuisesti. Vuonna 2015 kalvomuovien kysynnästä Aasian osuus oli 40 % ja Länsi-Euroopan ja Pohjois-Amerikan osuudet noin 18 % (Statista, 2015). Kalvomuoveja voidaan valmistaa useista eri polymeereista (Polymerdatabase, 2021). Rakentamisessa merkittävimpiä ovat kuitenkin PE-HD, PE-LD ja PE-LLD (Headley Pratt Consulting, 1996; Polymerdatabase, 2021).

Kalvomuovin kasvava kysyntä liittyy sen erilaisiin sovelluksiin. Pohjimmiltaan sovellukset voidaan jakaa pakkaamiseen ja muihin kuin pakkaussovelluksiin. Merkittävä osa kalvomuovista



käytetään pakkauksissa. WRAP:n (2016) mukaan kalvomuovit vastasivat noin 34 % pakkauksista Iso-Britanniassa vuonna 2014.

Pakkaukset voidaan jakaa primääri-, sekundääri- ja tertiääripakkauksiin. Itse tuotetta suojaavaa kalvomuovia kutsutaan ensisijaiseksi (primääri) pakkaukseksi. Kun kalvomuovi auttaa pitämään useat pakkaukset yhdessä, puhutaan toissijaisesta (sekundääri) pakkauksesta (Hellström ja Sagir 2007; Horodytska ym. 2018). Tertiääripakkaus puolestaan kattaa kuljetuksissa käytettävän kalvomuovin, jonka tavoitteena on pitää lava tai muu jakeluyksikkö suojattuna ja ehjänä. Rakentamisessa iso osa tuotteista pakataan sekä ensisijaisesti että toissijaisesti kalvomuovilla.

Muutamissa tutkimuksissa on analysoitu rakennushankkeiden pakkausjätettä ja sen osana muovipakkausjätettä. Tarkastellut jätteet sisältävät yleensä pahvia, puuta ja muovia (BRE Group Company, 2005; Pericot ym., 2014; Pericot & Merino, 2011; Selke & Culter, 2016). Pericot & Merino (2011) tarkastelivat pakkausjätteiden määrää kolmessa espanjalaisessa asuntohankkeessa (Taulukko 3).

*Taulukko 3. Eri pakkausjätteiden määrät asuntorakennuskohteissa (Pericot & Merino, 2011)*

Kohde	Pahvi		Muovi		Puu	
	Paino (kg)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )	Paino (kg)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )	Paino (kg)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )
I (100 asuntoa)	2887	67,31	1692	34,73	74832	958
II (118 asuntoa)	4039	88,25	2320	46,25	104457	1225
III (112 asuntoa)	4823	71,15	2237	42,59	99823	1167
<b>Yhteensä (330 asuntoa)</b>	<b>11750</b>	<b>226,7</b>	<b>6249</b>	<b>123,6</b>	<b>279113</b>	<b>3351</b>

Pericotin ja Merinon (2011) esittämän aineiston perusteella muovipakkausjätteen määrä keskikokoisessa asuinkeuhkkoasunonkohteessa (noin 8 kerrosta, reilut 100 asuntoa) on 1700-2300 kg eli noin 0,127 kg / m<sup>2</sup>. He mainitsivat lisäksi, että suurin osa muovipakkausjätteistä oli kalvomuovia, joita käytettiin mm. kuormalavojen pakkauksissa. Muovien lähdeä tuotteittain ei tarkasteltu yksityiskohtaisesti, mutta elementit olivat yksi merkittävä pakkausjätteen lähde rakennusprojekteissa.

Myöhemmin Pericot ym. (2014) tutkivat pakkausjätteen määrää kymmenessä betonirakenteisessa asuinkeuhkkoasunonkohteessa. Taulukossa 4 esitetään keskimääräiset pakkausjättemäärät rakennusvaiheittain.

Taulukko 4. Pakkausjätteet eri rakennusvaiheissa (Pericot ym., 2014)

Rakennusvaiheet	Pahvi		Muovi		Puu	
	Paino (kg/m <sup>2</sup> )	Tilavuus (l/m <sup>2</sup> )	Paino (kg/m <sup>2</sup> )	Tilavuus (l/m <sup>2</sup> )	Paino (kg/m <sup>2</sup> )	Tilavuus (l/m <sup>2</sup> )
Maatyöt	0	0	0	0	0,01	0,01
Perustukset	0,01	0,01	0	0	0	0
Runkorakenteet	0,01	0,02	0,12	0,19	0,33	0,30
Julkisivut	0,02	0,03	0,06	0,10	0,60	2,21
Väliseinärakenteet	0,01	0,02	0,12	0,19	0,64	0,59
Talotekniikka	0,88	1,18	0,01	0,02	0,13	0,12
Eristeet ja kosteuden-sulku			0,07	0,12		
Katot	0,02	0,03	0,04	0,07	0,05	0,05
Kalusteet ja viimeistelyt	0,25	0,34	0,10	0,17	0,15	0,13
Telelaitteet	0,05	0,07				
Ulkotilat ja uima-altaat	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02
<b>Yhteensä</b>	<b>1,26</b>	<b>1,71</b>	<b>0,52</b>	<b>0,86</b>	<b>1,93</b>	<b>3,43</b>

Pericot ym. (2014) tutkimuksessa muovipakkausjätettä syntyi 0,52 kg / m<sup>2</sup>. Muovipakkausjätettä syntyi eniten runkorakentamisessa (n. 23 %), väliseinätöissä (n. 23 %) ja kalustuksessa ja viimeistelytöissä (n. 19 %). Aikaisemman tutkimuksen (esim. Pericot & Merino, 2011; Jang ym., 2020) mukaisesti he mainitsevat myös, että suurin osa muovipakkausjätteistä on kuormien suojauksessa käytettävää kalvomuovia.

Vaikka edellä mainituissa tutkimuksissa on arvioitu kalvomuovijätettä rakentamisessa, tutkimusten ensisijainen painopiste ei ole ollut kalvomuovijätteessä vaan muovipakkauksissa yleisesti. On myös epäselvää, miten hyvin Etelä-Euroopassa saadut tulokset ovat sovellettavissa Suomen ja muiden Pohjoismaiden oloihin. Tutkimuksissa ei ole myöskään mukana työmaalla lisätyt suojaukseen käytetyt kalvomuovit, jotka ovat osa Suomen Green deal-sopimusta. Kalvomuovien määritelmässä voi esiintyä myös eroja. Hanny (2002) selittää, että merkittävä osa pakkausmuovijätteistä sisältää myös kovamuoveja, erityisesti sekundääripakkauksissa, esim. laattikoita ja kuljetuslavoja.

Suomessa tehty tutkimus kalvomuovijätteen määrästä on toistaiseksi ollut vähäistä. Ronkanen (2016) tutki diplomityössään rakennusjätteen koostumusta. Tuloksena erilaisista saneeraus- ja uudisrakennuskohteista oli, että noin 5,9 % kaikesta jätteestä oli jatkokäyttöön soveltuvia kalvomuoveja. Tuloksissa on kuitenkin huomioitava, että kohteet painottuivat sisävalmistusvaiheen remonttitöihin, joissa syntyy paljon pakkausmuoveja mutta vähemmän muita raskaita jättejakeita.

Liikanen ym. (2018) totesivat tutkimuksessaan, että kalvomuovi muodostaa noin 4 % rakennustyömaan rakennusjätteestä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkemmin eritellä kohteiden

ominaisuuksia tai rakennusjätteen osuutta hankkeiden kokonaisjättemäärästä. Kuten Taulukosta 5 ilmenee, kalvomuvijätettä syntyy melkein kaikissa työvaiheissa, kuten perustuksissa, runko- ja vesikattorakentamisessa ja sisävalmistusvaiheissa. Tarkempaa mallinnuksen mahdollistavaa määrällistä tutkimusta ei kuitenkaan ole Suomessa tehty.

*Taulukko 5. Rakentamisessa käytetty kalvomuuvi (Ramboll, 2020; Talo, 2000)*

<b>Työvaiheet</b>	<b>Tehtävät</b>	<b>Tuotteet (esimerkit)</b>
Perustukset	Lämmöneristystyö, vedeneristetyö	Maarakennuskankaat ja -muovit
Runko ja vesikatto	Vesikattotyö, ikkuna- ja ovi-asennus	Vesikatetuotteet, muovikermikatteet, muovi- ja laminaattilevyt, vesikattoelementit
Sisävalmistusvaihe	Väliseinätyö, parketti- ja matto-työ, kalusteasennus, LVIS-työt, kodinkoneasennus	LVI siirto- ja asennustuotteet

## 2.3 Kalvomuvijätteen keräys- ja laskentamenetelmät

Pericot ja Merino (2011) ehdottavat erilaisia jätehuoltostrategioita muovipakkausjätteiden vähentämiseksi rakennusalalla. Ehdotukset sisältävät esimerkiksi syntypaikkalajittelun jätelajikohtaisen säiliön avulla ja tuotteen säilyttämisen pakkauksessa siihen asti, kunnes se on tarkoitus käyttää. Heidän mukaansa tämä auttaisi pitämään tuotteen paremmassa kunnossa ja estämään sitä mm. mahdollisilta pakkausvaurioilta. Lisäksi puristimia voitaisiin käyttää muovin tilatarpeen vähentämiseen ja jätehuoltokoulutusta tulisi tarjota työmaan henkilöstölle.

Eri maissa on käytössä erilaisia säädöksiä ja käytäntöjä rakentamisen jätteiden, ja myös kalvomuvijätteiden, keräämiseksi. Esimerkiksi Yhdysvalloissa käytetään kahden tyyppisiä keräysmenetelmiä (Cimpan ym., 2015): Yhden virran menetelmässä kaikki kierrätettävät jätteet (esim. paperi, lasi, muovit ja metalli) kerätään samaan astiaan. Kaksivirtaisessa menetelmässä kierrätettävä jäte kerätään kahteen astiaan, joista toiseen mm. muovi, lasi ja metalli. Vaikka monivirtaisella prosessilla voidaan kerätä muovista erikseen, kalvomuvia harvoin erotetaan muusta muovista (Horodytska ym., 2018).

EU:ssa jotkut jäsenvaltiot ovat ottaneet yleisesti käyttöön erityiset kalvomuvijätteen keräysmenetelmät. Jopa näissä maissa kalvomuuvi kerätään usein silti muun muovin seassa. Taulukossa 6 esitetään EU-maita, jotka ovat ottaneet käyttöön erillisiä kalvomuvien keräysmenetelmiä.

Taulukko 6. Kalvomuovien keräysmenetelmät Euroopan maissa (Cimpan ym., 2015; Seyring ym., 2015; Horodytska ym., 2018)

Kalvomuovien keräysmenetelmät	EU-maat
Sekoitettu joustavan ja kovan muovin keräys	Itävalta, Alankomaat, Saksa, Slovenia, Unkari, Ruotsi, Espanja, Portugali, Ranska
Jäykät muovit ja kalvomuovit kerätään erikseen	Italia
Muovikalvot (PE) kerätään erikseen	Iso-Britannia
Kalvomuovit kerätään muiden kierrätysmateriaalien yhteydessä	Irlanti

Esimerkiksi Iso-Britanniassa kulutetaan 1,1 miljoonaa tonnia kalvomuovia vuodessa. Tämä on noin 44 % kaikista muovipakkauksista. Kaksi pääasiallista reittiä kotitalouksien kalvomuovien keräämiseksi ovat myymälöiden kierrätyspisteet (FOSR), jotka sijaitsevat yleensä suuremmissa supermarketeissa, ja paikallisten viranomaisten kierrätysjärjestelmät. Myymälöiden kierrätyspisteet tarjoavat paljon vaihtoehtoja eri jätejakeiden erilliskeräykseen, joten paikalliset viranomaiset edistävät voimakkaasti niihin perustuvaa järjestelmää (WRAPa, 2016). Nämä keräyspisteet eivät kuitenkaan ole tarkoitettu rakentamisen kalvomuovien keräykseen.

Rakennustyömaan pakkausmuovijätteen arvioimiseksi Pericot ja Merino (2011) käyttivät SMARTAudit-nimistä työkalua, jossa jäte kvantifioitiin ja luokiteltiin sen lähteen, tyypin, syyn ja kustannusten mukaan. Tässä prosessissa koulutetut havainnoitsijat arvioivat sekajättesäiliön jätemääriä ja laatuja rakennustyömaalla. Mittauksia tehtiin jopa viisi kertaa saman päivän aikana. He suosittelivat erillisen pakkausmuovijättesäiliön sijoittamista työmaalle asianmukaisen jätehuollon varmistamiseksi.

Kalvomuovijätteen erilliskerääminen työmaalta ei ole helppo tehtävä. Työmaa tulisi varustaa erilaisilla keräysastioilla, mikä ei ole aina kannattavaa. Erilliskeräys voi kohdata useita haasteita, joita ovat mm. työmaan kiire, tilan puute, työntekijöiden asenne ja puutteellinen opastus jätteiden lajitteluun (Ympäristöministeriö, 2020). Vaikka kalvomuovien kerääminen on aikaa vievää ja aiheuttaa lisätyötä, on nettokustannusvaikutus arviolta neutraali tai jopa positiivinen alentuneiden jätemaksujen takia (Ramboll, 2020).

## 2.4 Kalvomuovien kierrätys

Rakennustyömaiden kalvomuovien kierrätysaste on edelleen hyvin alhainen (Horodytska ym., 2018). Kalvomuovi, erityisesti kulutuksen jälkeinen muovi, aiheuttaa monia teknisiä haasteita kierrätysprosessissa, koska muovit ovat usein likaisia, värillisiä ja heikkokuntoisia. Täten talteen otettua kalvomuovia voidaan usein käyttää vain melko alhaisen jalostusarvon tuotteiden valmistamiseen (Drobny, 2007; RSE, 2013). Näistä syistä Snyder (2016) korostaa tarvetta kehittää erityistä kalvomuovien kierrätysteknologiaa, joka soveltuu hyödyntämään erilaatuisia kalvomuoveja.

Taulukossa 7 esitetään kalvumuovien kierrätyksessä nykyisin yleisesti käytetyt menetelmät. Kalvumuovijätteen jatkohyödyntämisessä yleisimpiä menetelmiä on hyödyntäminen polton kautta energiana. Ongelmana polttamisessa on kuitenkin päästöjen syntyminen. Teollisuuden prosessien jälkeiset kalvumuovijätteet ovat yleensä puhtaita, homogeenisia ja ne koostuvat yhdestä ainoasta polymeerityypistä, joka on suhteellisesti helpompi kierrättää kuin kuluttajan tai työmaan prosessien jälkeinen sekalainen kalvumuovijäte. EU:n jätedirektiivi ja kansallinen jätelainsäädäntö nykyään kieltää muovien kaatopaikalle sijoittamisen.

*Taulukko 7. Tekniikat kalvumuovien kierrätykseen (Horodytska ym., 2018; Mark, 2021; Sorrema, 2021)*

<b>Kalvumuovijätteen tuottaja</b>	<b>Tekniikka</b>	<b>Selite</b>
Teollinen prosessi	Uudelleen pursotus	Muovi sulatetaan ja rakeistetaan uudelleen
	Tavanomainen kierrätys	Jauhaminen, pesu, kuivaus, uudelleenrakeistus
	Pursotus kaasunpoistolla	Kaasun poistaminen pursotusprosessin aikana
	Hyödyntäminen energiana	Energian tuottaminen polttamalla lämmöksi
Muu käyttäjä (esim. työmaa)	Kemiallinen kierrätys	Kemiallisesti muovijätteen käsittely raaka-aineeksi
	Hyödyntäminen energiana	Energian tuottaminen polttamalla lämmöksi

## 3 Tutkimusmenetelmät

### 3.1 Tutkimuskohteiden valinta

Tutkimusmenetelmäksi valittiin monitapaustutkimus, joka mahdollistaa määrällisen ja laadullisen tiedonkeruun useasta verrokkikohteesta. Tutkittavat tapaukset ovat asuinkerrostalohankkeita. Valintakriteereinä oli a) kalvomuovien erilliskeräys hankkeessa, ja b) hankkeen työmaavaiheen ajoittuminen tutkimuksen ajankohtaan (vuodet 2021 ja 2022). Hankkeiden sopiva aikataulu oli tärkeää, jotta kalvomuovijätteen määriä oli mahdollista seurata rakentamisen alusta loppuun sekä jäteraportoinnin että työmailla tehtävän havainnoinnin avulla. Hankkeita haluttiin myös eri puolilta Suomea, jotta ne edustaisivat mahdollisimman hyvin erilaisia rakentamisen ja jätehuollon käytäntöjä.

Taulukossa 8 esitetään tutkitut kohteet ja niiden erityispiirteet. Kohteiden valinnassa pääpaino oli aluksi betonielementtirunkoisissa kohteissa niiden yleisyyden ja samankaltaisuuden vuoksi. Viidestä alustavasti tutkitusta betonielementtikohteesta lopulta kolme kohdetta (kohteet 1-3) valikoitui tutkimukseen. Poisjääneissä kahdessa kohteessa kalvomuovien erilliskeräystä ei toteutettu riittävän systemaattisesti ja luotettavasti. Tutkimuksen alkuvaiheessa todettiin, että ainakin yksi puukohde olisi tarpeen arvioida vertailutiedon saamiseksi puu- ja betonikohteista. Tähän tarkoitukseen löydettiin kohde 4 pääkaupunkiseudulta. Koska kohde valmistuu vasta 2023 ja kalvomuoveja ei erilliskerätty systemaattisesti, perustuu analyysi tämän kohteen osalta otostietoihin ja mallinnukseen.

Taulukko 8. Kohteet kuvaus ja erityispiirteet

Kohde	Alue	Kohteet kuvaus ja erityispiirteet
Kohde 1	Päijät-Häme	Betonielementtirunko; valmistui 8/2021
		Kohteessa kerättiin laajasti kaikkea eri jätejakeisiin liittyvää tietoa, myös erilliskerätyistä kalvomuoveista
Kohde 2	PK-seutu	Betonielementtirunko; valmistui syksyllä 2021
		Kohteessa kerättiin laajasti tietoa eri muovijakeista, myös erilliskerätyistä kalvomuoveista
Kohde 3	Satakunta	Betonielementtirunko; valmistui 5/2022
		Kohteessa kerättiin erikseen kalvomuovit
Kohde 4	PK-seutu	Puukohde, rankarakenteinen suurelementti; valmistuu 2023
		Kalvomuoveja ei systemaattisesti erilliskerätty, mutta kohteesta kerättiin verrokkitietoa puurakentamiskohteesta

### 3.2 Kalvomuovijätteen tiedonkeruun vaihtoehdot

Yhtenä tutkimuksen osatavoitteena oli kartoittaa vaihtoehtoisia menetelmiä kalvomuovijätteen tiedonkeruuseen. Tunnistimme kaksi vaihtoehtoista menetelmää, joita kutsumme ns. input- ja output-menetelmiksi: 1) mittaamalla tuotetoimitusten mukana työmaalle tulevaa primäärin, sekundäärin ja tertiäärin kalvomuovien määrää sekä työmaalla lisättyä kalvomuovia (input-

menetelmä), ja 2) mittaamalla työmaalla erilliskerätyn ja poisviedyn kalvomuvijätteen määrää (output-menetelmä).

### **3.2.1 Työmaalle tulevan ja työmaalla lisätyn kalvomuvoin mittaaminen (Input)**

Tässä vaihtoehdossa tunnistetaan ensin työmaalle toimitettavat tuotteet, jotka sisältävät merkittäviä määriä pakkauksissa ja suojuksissa hyödynnettyä kalvomuvia. Nämä kalvomuvoin lähteet voidaan tunnistaa mm. työjohdolle osoitetulla kyselyllä, jossa he merkitsevät esim. Talo 2000 -tuotenimikkeistön mukaisesti 10 merkittävintä kalvomuvijätettä aiheuttavaa rakennustuotetta. Usealle yritykselle ja työnjohtajalle osoitetun kyselyn perusteella voidaan tunnistaa yleisimmät kalvomuvijätettä synnyttävät tuotteet. Meneillään olevassa rakennushankkeessa kalvomuvoin käytön aiheuttajia voidaan vaihtoehtoisesti tunnistaa sitä mukaa kun työmaa etenee ja tuotteita toimitetaan työmaalle.

Kalvomuvoin lähteen tunnistamisen jälkeen mitataan tai muutoin selvitetään pakkauskohtaisen kalvomuvoin määrä esim. punnitsemalla primääri-, sekundääri- ja tertiäripakkausten kalvomuvimääriä työmaalla tai tiedustelemalla määrää suoraan tuotetoimittajalta. Pakkauskohdainen määrä kerrotaan tämän jälkeen hankkeen määräluettelosta saatavalla tuotteen kokonaismäärällä jaettuna käytetyllä pakkauskoolla. Tuotteisiin kytkeytyvien pakkausmuovien lisäksi tulee tehdä työmaahavaintoja suojuksissa käytetyistä muoveista. Nämä ovat esimerkiksi ikkunoiden suojausta tai erilaisia osastointeja sisätyövaiheissa.

Input-menetelmän etuna on, että sitä voidaan toteuttaa myös työmailla, jotka eivät vielä ole ottaneet käyttöön kalvomuvijätteen erilliskeräystä. Haasteena on kuitenkin kartoittaa kaikki mahdolliset kalvomuvijätteen aiheuttajat ja kerätä sadoista eri tuotteista tarvittavat tiedot kalvomuvoin määrästä. Input-menetelmä voi olla tulevaisuudessa käyttökelpoisempi, kun tuotetoimittajat ja jakelijat lisäävät kalvomuvoin määrän osaksi toimittamiaan tuotetietoja. Input-menetelmän avulla voidaan oletettavasti optimoida kalvomuvoin käyttöä rakennuskohteittain, kun aletaan saada kulutustietoja ja voidaan suunnitella nykyistä huolellisemmin työmaakohtaiset erilliskeräysratkaisut ja myös pakkausratkaisut rakennushankekohtaisesti.

### **3.2.2 Erilliskerätyn kalvomuvijätteen mittaaminen (Output)**

Tässä vaihtoehdossa kalvomuvijätteet kerätään erikseen työmaalla ja toimitetaan punnittavaksi jätehuoltotoimijalle. Kalvomuvoin määrää seurataan jäteoperaattorin raporttien ja työmaalla tapahtuvan havainnoinnin ja mittaamisen perusteella. Työmaavierailujen aikana kalvomuviastioiden lisäksi arvioidaan mm. energia- ja sekajätteeseen päätynyttä kalvomuvoin määrää, jotta voidaan määrittää väärin lajitellun tai erilliskeräykseen kelpaamattoman kalvomuvoin osuus kokonaisuudesta. Havainnointi tulee järjestää jätteiden noudon kanssa tahdistetusti siten, että merkittäviä jätemääriä ei poistu työmaalta ennen astioiden havainnointia.

Kalvomuvijätteen määrän mittaaminen erilliskeräyksellä (output-menetelmä) tuottaa parhaassa tapauksessa vaivattomasti tarkkaa tietoa kalvomuvijätteen todellisesta määrästä.

Haasteena voi kuitenkin olla, että työmaan käytännöistä ja heikosta sitoutumisesta johtuen kalvomuovia voi päätyä merkittäviä määriä muihin jätejakeisiin ja näitä määriä ei pystytä tarkasti arvioimaan. Menetelmä vaatii ylipäänsä kalvomuovin erilliskeräystä, joka lisääntyneestä ympäristötietoisuudesta, tilaajien vaatimuksista ja kustannusten optimoinnista huolimatta on edelleen melko harvinaista asuinkerrostalorakentamisessa. Tilaajat, rakennuttajat ja pääura-koitsijat ovat isossa roolissa erilliskeräyksen yleistymisessä.

Mittaaminen työmaalle tulevista tuotteista (input-menetelmä) on työläämpää, mutta mahdollistaa varmemmin koko kalvomuovimäärän kartoituksen, jos yhteistyö työmaan, tuotetoimittajien ja tutkijoiden välillä toimii saumattomasti. Menetelmää voidaan hyödyntää myös työmailla, joissa esim. tilanpuutteen tai jo tehtyjen aliorakointisopimusten takia ei pystytä järjestämään kalvomuovin erilliskeräystä. Työmäärän lisäksi haasteena menetelmässä voi olla saada työmaan suojauksista syntyvän kalvomuovijätteen määrätieto kerättyä. Lisäksi asennusmuovin leikkuujätteestä voi syntyä kierrätettävää kalvomuovia, jota ei tällä menetelmällä saada tunnistettua.

Kaiken kaikkiaan kalvomuovijätteen kerääminen rakennustyömaalta ei ole helppo tehtävä. Aiemmin Pericot ja Merino (2011) käyttivät työkalua nimeltä "SMARTAudit" analysoidakseen pakkausjätteitä, joissa jätteet määritettiin ja luokiteltiin lähteen, tyyppin, määrän, syyn ja kustannusten mukaan. Tässä prosessissa hyvin koulutetut tarkkailijat arvioivat jätteen määrän sekajättesäiliöstä rakennustyömaalla. He suosittelevat kuitenkin, että paikan päällä tapahtuva jätteiden lajittelu on paras tapa saada tarkka jätemäärä.

### **3.3 Valitut tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät**

Kokonaisvaltaisen pohdinnan tuloksena tässä tutkimuksessa päädyimme keräämään kalvomuovin määrä- ja laatutietoja edellä mainitulla output-menetelmällä. Datan keräämiseksi sovimme, että hankkeet keräävät kalvomuovin erikseen, ja työnjohto tai jätehuoltotoimijat toimittavat tutkijoille tiedot kalvomuoviastian tyhjennysten ajankohdista ja kalvomuovijätteen määrästä (kg).

Tutkituissa hankkeissa kaikki työmaan työntekijät ohjeistettiin keräämään kalvomuovijäte erikseen. Keräyksen onnistumiseksi työmaalle varattiin erillinen kalvomuovisäiliö ja lisäksi sisävalmistusvaiheessa jokaiseen kerrokseen sijoitettiin erillinen kalvomuoviastia. Astioiden yhteydessä annettiin ohjeita erilliskeräykseen sopivista jätejakeista (Kuva 1). Poon ym. (2001) mukaan työmaan työntekijät ovat usein haluttomia suorittamaan paikan päällä tapahtuvaa jätteiden lajittelua, koska sen katsotaan olevan työlästä ja aikaa vievää. Tämän ongelman ratkaisemiseksi osassa tutkituista hankkeista työnjohto ohjeisti myös siivoajat erilliskeräyksen toteuttamiseen.





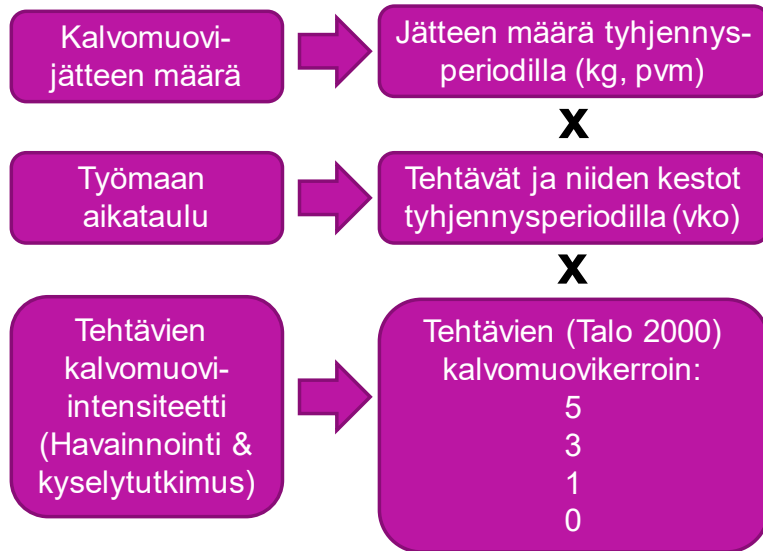
Kuva 1. Ohjeet kalvomuovin erilliskeräykseen työmaalla.

Lisäksi hankkeen tutkijat vierailivat työmailla analysoimassa kalvomuovin määrää muissa astioissa ja samalla tarkkailivat kalvomuovin laatua. Havainnoinnilla pyrittiin myös tunnistamaan tuotteita ja työvaiheita, jotka tuottavat eniten kalvomuovia. Havainnointia tehtiin eniten kohteessa 3. Kohteen 1 ja 2 havainnointi oli vähäisempää, koska hankkeet päättyivät jo vuoden 2021 puolella. Myös koronapandemiaan liittyvät rajoitukset estivät joitakin havainnointikäyntejä työmaille.

Kalvomuovijätteen tyhjennystietojen ja havainnoinnin lisäksi kaikista hankkeista kerättiin niiden perustiedot, jotka pitivät sisällään mm. laajuustiedot, työmaa-aikataulun, pääsuunnitelmat, asuntojen lukumäärän ja osasta hankkeita myös määräluettelon. Suhteuttamalla kalvomuovijätteen määrää tietoihin hankkeen laajuudesta (mm. bruttoneliöt ja asuntojen lukumäärä) saatiin vertailukelpoista tietoa hankkeiden kalvomuovin määrästä ja tätä tietoa käytettiin myös mallinnustyökalun kehittämisessä.

Yhtenä osatavoitteena oli mitata kalvomuovijätteen määrää rakennusvaiheittain ja työtehtävittäin. Tätä varten käytetty menetelmä on esitetty Kuvassa 2. Analyysin lähtökohtana on kalvomuovijätteen punnittu määrä kullakin työmaan jäteastian tyhjennysperiodilla. Tämän jälkeen kartoitimme työmaa-aikataulun perusteella kaikki työmaatehtävät ja kohdensimme niiden viikkokestot kullekin jätteiden tyhjennysperiodille. Jätteiden kohdistamisessa kunkin tyhjennysperiodin sisällä eri tehtäville hyödynsimme lisäksi tehtävien kalvomuovikerrointa. Teimme kyselyn 12 työnjohtajalle ja pyysimme heitä listaamaan 10 merkittävintä Talo 2000 hankenimikettä sen mukaan miten ne synnyttävät kalvomuovijätettä. Kyselyn, työmaahavaintojen, haastattelujen ja aikaisemman tutkimuksen (Pericot ym., 2011) pohjalta kullekin Talo 2000 nimikkeelle määriteltiin kerroin, joka kuvaa kalvomuovin suhteellista määrää. Kerroin 5 annettiin nimikkeille, jotka tuottavat eniten kalvomuovia (esim. ikkunat) ja kerroin 0 tehtäville, jotka

eivät tuota ollenkaan kalvumuovia (esim. hankeosat). Kertoimet on esitetty Taulukossa 9. Kul-  
lekin aikataulussa olleelle työtehtävälle määriteltiin sopivin Talo 2000 mukainen nimike. Lo-  
pulta kunkin tyhjennysperiodin jätemäärä allokoitiin periodin aikana tehdyille tehtäville tehtä-  
vien keston (vko) ja kalvumuovikertoimen tulon perusteella.



Kuva 2. Menetelmä kalvumuovijätteen kohdentamiseksi työtehtäville

Taulukko 9. Talo 2000-hankenimikkeistö ja kalvumuovikerroin

Rakennusosat	Kerroin				
Ikkunat	5	Väliseinät	3	Sisäkattorakenteet	1
Ulko-ovet	5	Lasiväliseinät	3	Sisäkattopinnot	1
Väliovet	5	Erytisväliseinät	3	Seinien pintarakenteet	1
Erytisovet	5	Kylpyhuone-elementit	3	Seinäpinnot	1
Runko	3	Kylmähuone-elementit	3	Erytiset tilapinnat	1
Ulkoseinät.	3	Saunaelementit	3	Vakiokiintokalusteet	1
Julkisivuvarusteet	3	Anturat	1	Erytiskiintokalusteet	1
Erytiset julkisivurakenteet	3	Perusmuurit, peruspilarit ja peruspalkit	1	Varusteet	1
Parveke lasitukset	3	Erytiset perustukset	1	Vakiolaitteet	1
Vesikattorakenteet	3	Alapohjalaatat	1	Tilaopasteet	1
Vesikatteet	3	Alapohjakanaalit	1	Erytiset tilavarusteet	1
Vesikattovarusteet	3	Erytiset alapohjat	1	Hoitotasot ja kulkurakenteet	1
Lasikattorakenteet	3	Katokset	1	Tulisijat ja savuhormit	1
Kattoikkunat ja luukut	3	Erytiset ulkotasot	1	Muut erityiset tilaosat	1
Erytiset vesikattorakenteet	3	Räystäsrakenteet	1	Talotekniikan tilaelementit	1
		Tilan jako-osat	1	Hormielementit	1
		Kaiteet	1	Erytiset tilaelementit	1
		Tilaportaat	1	<b>Tekniikkaosat</b>	<b>1</b>
		Erytiset tilajako-osat	1	<b>Hankeosat</b>	<b>0</b>
		Lattioiden pintarakenteet	1	<b>Alueosat</b>	<b>1</b>
		Lattiapinnat	1		

Tehtävien lisäksi kalvomuovin määrää arvioitin rakennusvaiheittain. Vaiheiden mukainen mallinnus auttaa hahmottamaan mm. keräysastioiden tarvetta työmaan aikana. Analyysissä päädyttiin jaottelemaan tehtävät viiteen eri vaiheeseen seuraavan luokittelun mukaisesti:

- 1. Alueosat, perustukset ja alapohjat:** Perustukset, anturat, perusmuurit, peruspilarit ja peruspalkit, alapohjalaatat, alapohjakanaalit
- 2. Runko ja vesikatto:** Pystyrakenteet, ikkunat, ulko-ovet, vesikatot
- 3. Sisävaihe:** Väliseinät, alakatot, kalusteasennus, parketti- ja mattotyö, kodinkoneasennus
- 4. Putkityöt ja sähkötyöt:** Putkityöt, sähkötyöt, IV-työt
- 5. Valmistusvaihe:** Loppusiivous, toimintakokeet, tarkastukset ja viranomaistarkastukset

## 4 Tulokset

### 4.1 Kohteiden perustiedot ja kalvomuovijätteen määrät

Kolmen tutkitun betonielementtikohteen perustiedot ja kalvomuovien määrät on esitetty Taulukossa 10. Kohteessa 3 oli hieman muita suurempia asuntoja. Kalvomuovia erilliskerättiin kohteesta riippuen 1009-1710 kg, mikä vastasi noin 0,5-1,0 % kaikesta kerätystä jätteestä. Kalvomuovimääriä suhteutettiin sekä bruttoneliöihin että asuntojen lukumäärään: Bruttoneliöt kuvaavat hyvin mm. runko- ja pintarakenteiden määriä ja asuntojen määrä korreloi puolestaan mm. väliseinien, keittiöiden ja märkätilojen määrien kanssa. Kalvomuovijätettä kerättiin keskimäärin 0,33 kg per bruttoneliö ja 26,2 kg per asunto.

Taulukko 10. Betonielementtikohteiden perustiedot ja kalvomuovien määrä

	<b>Kohde 1</b>	<b>Kohde 2</b>	<b>Kohde 3</b>
Brutto-m2	3863 m2	5617 m2	3460 m2
Asuntojen määrä	54 kpl	76 kpl	38 kpl
Kerrosten määrä	7	9	8
Kerätty kalvomuovien määrä	1596 kg (0,96 % jätteestä)	1710 kg (0,53 % jätteestä)	1009 kg
Kalvomuovi / brm2	0,41 kg / brm2	0,30 kg / brm2	0,29 kg / brm2
Kalvomuovi / asunto	29,6 kg	22,5 kg	26,4 kg

Kohteessa 1 kerättiin sekä brutto-m2:n että asuntojen määrään suhteutettuna eniten kalvomuovia: määrä oli noin 30 % suurempi kuin muissa kohteissa. Työmaahavaintojen, vierailujen ja haastattelujen perusteella kohteessa 1 kalvomuovien keräys oli muita systemaattisempaa. Kohteessa panostettiin paljon keräyksen suunnitteluun, työntekijöiden ohjeistuksiin ja koulutukseen ja valvontaan. Kohteessa 2 osa kalvomuovista päätyi haastattelujen perusteella energijakeeseen, vaikka nämä oli työpisteessä lajiteltu kalvomuovijätteeksi. Tämän kalvojäätteen määrä arvioitiin erikseen ja määrä sisällytettiin kalvomuovien mittaukseen.

### 4.2 Kalvomuovien mallintaminen tehtävittäin

Toisessa vaiheessa kerätty kalvomuovijäte kohdistettiin työtehtäville. Taulukko 11 kuvaa esimerkinomaisesti yhdestä kohteesta, miten yksittäisen tehtävän osuus kerätystä kalvomuovista määräytyy tehtävän keston (Viikot) ja kalvomuovikertoimen (Kerroin) tulon (VxK) perusteella. On huomattava, että kaikissa hankkeissa kalvomuovien keräysastiaa ei tyhjennetty joka kuu-kausi vaan sitä mukaa kun astia täyttyi. Tällöin tyhjennyksessä punnittu kalvomuovien määrä kohdistettiin menetelmän mukaisesti kaikille niille tehtäville, jotka oli toteutettu edellisen tyhjennyksen jälkeen.

Taulukko 11 Esimerkki kalvomuovin kohdentamisesta työtehtäville

KK	Tehtävä	Viikot	Kerroin	V*K	kg	m3
Kesä	Tasokaivuu	3	0	0	<b>0,00</b>	0
	Paalutus	1	0	0	<b>0,00</b>	0,00
Heinä	Salaojat, anturapohjat, sadevedet	2	1	2	<b>2,13</b>	0,11
	Anturat ja korotukset	2	1	2	<b>2,13</b>	0,11
	Anturat ja korotukset	2	1	2	<b>2,13</b>	0,11
Elo	Sokkelit	3	1	3	<b>3,20</b>	0,16
	VSS	3	1	3	<b>3,20</b>	0,16
	Alapohjan täyttö + viemärit	1	1	1	<b>1,07</b>	0,05
	Alapohjan täyttö + viemäri	1	1	1	<b>1,07</b>	0,05
Syys	Lattiatyö + valu	1	1	1	<b>1,07</b>	0,05
	Runko	2	3	6	<b>6,40</b>	0,32
	Puuikkunat ja parvekeovet	2	5	10	<b>10,67</b>	0,53
	Runko	4	3	12	<b>12,80</b>	0,64
	Puuikkunat ja parvekeovet	4	5	20	<b>21,33</b>	1,07
Loka	Jälkiputsi	3	1	3	<b>3,20</b>	0,16
	Kiviväliseinien asennus	3	3	9	<b>9,60</b>	0,48

Taulukossa 12 on esitetty eniten kalvomuovijätettä synnyttäneet tehtävät. Tulosten perusteella eniten kalvomuovijätettä syntyy kalusteista, ikkunoista ja ovista, laatoituksesta, alakatoista ja loppusiivouksesta. Kohteiden välillä on melko suuria eroja tehtäväkohtaisissa kalvomuovimäärissä. Tehtäväkohtainen mallinnus sisältääkin aina epävarmuuksia. Mitä useammin kerättyä kalvomuovia noudetaan ja punnitaan, sitä tarkemmin mallinnus kuvaa todellisia lähteitä.

Taulukko 12 Eniten kalvomuovijätettä synnyttävät tehtävät

Nro	Tehtävät	Kohde 1 (kg/100m2)	Kohde 2 (kg/100m2)	Kohde 3 (kg/100m2)	Keskiarvo
1	Kalusteasennus	4,75	2,19	1,88	2,94
2	Ikkunat ja parvekeovet	2,34	3,04	1,94	2,44
3	Laatoitus	2,15	2,19	1,97	2,10
4	Loppusiivous	1,66	3,04	1,49	2,06
5	Asuntojen alakatot	3,09	1,83	1,26	2,06
6	Kevyet väliseinät	2,37	1,83	1,52	1,91
7	Oikaisu, tasoitus, maalaus	1,71	2,19	1,26	1,72
8	Laminaatti / parketti	2,25	1,83	0,60	1,56
9	LVI-työt	1,50	1,10	1,61	1,40
10	Betoniväliseinät	1,41	2,28	0,45	1,38
11	Vesikaton puutyöt	1,90	0,69	1,12	1,24
12	Vesikaton huopa	1,14	0,69	1,12	0,98
	Muut	12,74	7,10	12,78	10,87

### 4.3 Kalvomuovin mallintaminen rakennusvaiheittain

Tehtäväkohtaista mallinnusta hyödynnettiin lähtökohtana hankkeen vaiheiden mukaisen mallinnuksen laatimisessa. Vaiheiden mukainen mallinnus on tehtäväkohtaista karkeampaa, mutta se voi toimia paremmin lähtökohtana minkä tahansa asuinkerrostalokohteen kalvomuovien määrän arvioinnissa.

Vaihekohtaiset tulokset hankkeittain on esitetty Taulukossa 13. Eniten kalvomuovijätettä syntyi sisävalmistusvaiheessa. Tehtävien aikataulujen tarkkuustasoerot voivat vaikuttaa tuloksiin. Esim. putki- ja sähkötyöt oli aikataulutettu kohteessa 3 selvästi muita tarkemmalla tasolla, mikä saattoi vaikuttaa niiden suurempaan allokoituun osuuteen kalvomuovijätteestä. Taulukossa on esitetty kalvomuovijätteen määrä myös tilavuutena. Laskelma perustuu Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston tilavuus-painomuunnoskertoimeen, jonka mukaan 1 kg kalvomuovia vie 0,05 m<sup>3</sup>:n säiliötilan, jos kalvot varastoidaan ilman kovaa puristusta (US EPA, 2016). Tilavuustietoa voi hyödyntää kalvomuovin vaatiman keräysastian koon ja tyhjennysvälin arvioinnissa.

Taulukko 13. Kalvomuovijätteen määrä hankkeissa rakennusvaiheittain

Nro	Vaihe	Kohde 1 (kg)	Kohde 1 (m <sup>3</sup> )	Kohde 2 (kg)	Kohde 2 (m <sup>3</sup> )	Kohde 3 (kg)	Kohde 3 (m <sup>3</sup> )
1	Perustukset ja alapohjat	19	1,0	86	4,3	28	1,4
2	Runko ja vesikatto	315	15,7	350	17,5	183	9,2
3	Sisävaihe	1021	51,1	997	49,9	497	24,8
4	Putkityöt ja sähkötyöt	155	7,8	105	5,2	244	12,2
5	Valmistusvaihe	86	4,3	172	8,6	57	2,8
	<b>Yhteensä</b>	<b>1596</b>	<b>79,8</b>	<b>1710</b>	<b>85,5</b>	<b>1009</b>	<b>50,5</b>

Taulukossa 14 on esitetty kalvomuovit edelleen rakennusvaiheittain, mutta nyt myös suhteutettuna hankkeen bruttoneliöihin. Yli puolet kalvomuovijätteestä syntyy sisävaiheen rakennusteknisistä töistä. Tämän jälkeen merkittävimpiä ovat runko ja vesikatto sekä putki- ja sähkötyöt, jotka ajoittuvat usein koko työmaan ajalle. Perustus- ja alapohjavaiheessa kalvomuovijätettä syntyy melko vähän, mistä johtuen monilla työmailla erilliskeräykseen herätään vasta runkovaiheen aikana. Valmistusvaiheessa siihen sisällytetty loppusiivous oli merkittävin kalvomuovijätteen aiheuttaja.

Taulukko 14. Kalvomuovijätteen määrä hankkeissa rakennusvaiheittain suhteutettuna bruttoneliöihin

Nro	Vaihe	Kohde 1 (kg/100m <sup>2</sup> )	Kohde 2 (kg/100m <sup>2</sup> )	Kohde 3 (kg/100m <sup>2</sup> )	Keskiarvo (kg/100m <sup>2</sup> )
1	Perustukset ja alapohjat	0,5	1,5	0,8	0,9
2	Runko ja vesikatto	8,2	6,2	5,3	6,6
3	Sisävaihe	26,4	17,8	14,4	19,5

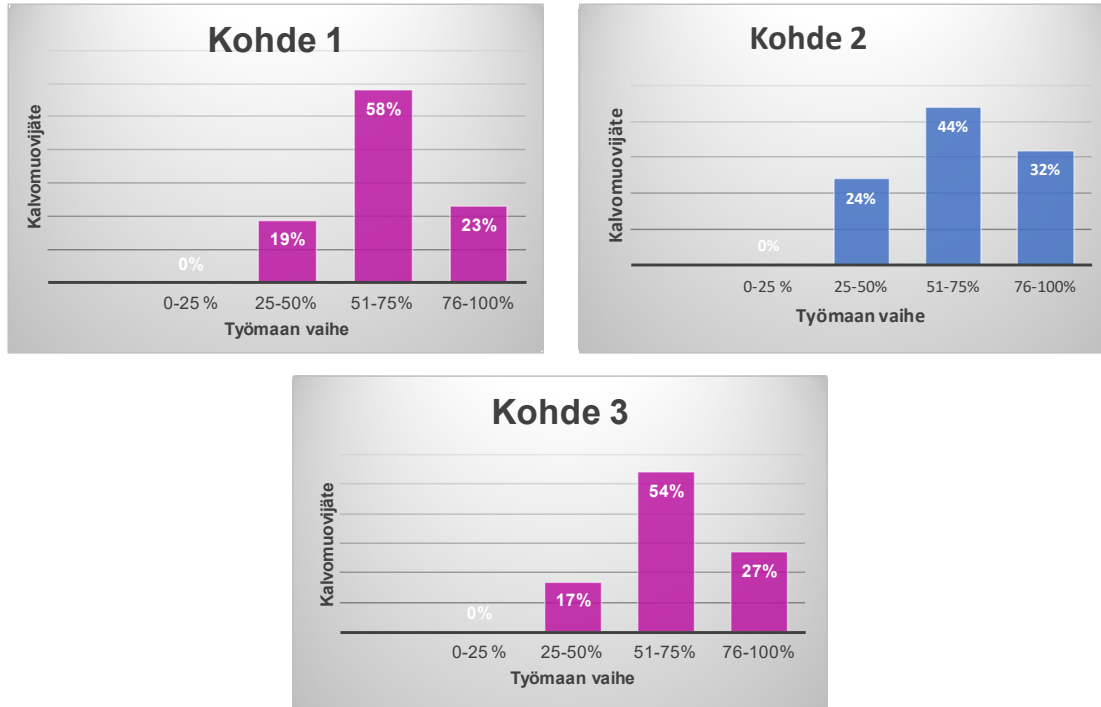
4	Putkityöt ja sähkötyöt	4,0	1,9	7,1	4,3
5	Valmistusvaihe	2,2	3,1	1,6	2,3
<b>Yhteensä</b>		<b>41,3</b>	<b>30,4</b>	<b>29,2</b>	<b>33,6</b>

Taulukossa 15 on edelleen esitetty kalvomuovijätteen määrä vaiheittain, mutta nyt määrä on laskettu asuntoa kohden. Taulukon tuloksia voi hyödyntää, kun esim. suunnitellaan kerroksissa tarvittavien jäteastioiden määrää ja tyhjennysväliä. Esimerkiksi sisävaihe, putkityöt ja sähkötyöt yhteensä tuottavat keskimäärin noin 18,6 kg kalvomuovijätettä, mikä muuntokertoimen perusteella tarkoittaa noin 930 litraa kalvomuovijätettä eli reilut 6 kpl 150 litran jätessäkkejä.

*Taulukko 15. Kalvomuovijätteen määrä hankkeissa rakennusvaiheittain yhtä asuntoa kohden*

<b>Nro</b>	<b>Vaihe</b>	<b>Kohde1</b> (kg/kpl)	<b>Kohde 2</b> (kg/kpl)	<b>Kohde 3</b> (kg/kpl)	<b>Keskiarvo</b> (kg/kpl)
1	Perustukset ja alapohjat	0,4	1,1	0,7	0,7
2	Runko ja vesikatto	5,8	4,6	4,8	5,1
3	Sisävaihe	18,9	13,1	13,1	15,0
4	Putkityöt ja sähkötyöt	2,9	1,4	6,4	3,6
5	Valmistusvaihe	1,6	2,3	1,5	1,8
<b>Yhteensä</b>		<b>29,6</b>	<b>22,5</b>	<b>26,6</b>	<b>26,2</b>

Kuvassa 3 on vielä kuvattu kalvomuovijätteen kertymää työmaan elinkaarella astian tyhjennys-hetken mukaan. Astian tyhjennys-hetken tarkastelu auttaa työmaata ja jätehuoltotoimijaa suunnittelemaan etukäteen jäteastioiden toimitusta ja tyhjennystä. Oheiset kuvat osoittavat miten kalvomuovijäteastioita tyhjenetään pääosin työmaan loppupuolella painottuen kolmanteen neljännekseen rakennusajasta.



Kuva 3 Kalvomuovijätteen kertymä työmaan elinkaarella astian tyhjennyshetken mukaan

#### 4.4 Puu- ja betonikohteiden vertailu

Puurakentamisen yleistyessä haluttiin betonikohteiden verrokkina tarkastella kalvomuovijätteen määrää puukerrostalokohteessa. Kohteeksi valikoitui pääkaupunkiseudulla rakenteilla oleva kohde, joka valmistuu vuonna 2023. Aikataulun ja jätteenkeruusuunnitelman takia hankkeesta ei ollut saatavilla kattavaa mitattua tietoa kalvomuovijätteestä. Siksi analyysi kohdistui erojen tunnistamiseen kalvomuovijätettä aiheuttavissa tekijöissä ja näiden mallintamiseen.

Puukerrostaloissa on yleensä neljä keskeistä rakennustapaa:

- Rankarakenteiset tasoelementit (seinät ja välipohjat)
- Rankarakenteiset tilaelementit
- Massiivipuurakenteiset tasoelementit
- Massiivipuurakenteiset tilaelementit

Tässä tutkimuksessa tarkastelussa oli kohde, jossa käytetään rankarakenteisia tasoelementtejä. Varsinkin tilaelementtejä käytettäessä tulokset voivat poiketa merkittävästi tässä tutkimuksessa esitetyistä.

Haastattelujen ja havaintojen perusteella tunnistettiin, että ainoa merkittävä ero kalvomuovin syntymekanismissa liittyy betoni- ja puuelementtien eroihin. Puuelementit on tyypillisesti suojattu kalvomuovilla a) nipuittain (esim. 4-6 elementtiä per nippu) ja tämän lisäksi usein myös b) elementteittäin. Betonielementeissä sen sijaan tyypillisesti vain elementin yläpinta on



suojattu kalvomuovilla. Perusteellisempi suojaustarve johtuu puuelementin suuremmasta riskistä kosteusvauroille. Muiden rakennusosien oletettiin puukohteessa tuottavan samalla tavalla kalvomuovia kuin betonikohteissakin.

Tarkemmassa laskelmassa tehtiin lisäksi seuraavia oletuksia:

- Puukohteen bruttoala 3900 m<sup>2</sup>, vastaavassa betonikohteessa 1600 kg kalvomuovia
- Ulkoseinien ja huoneistoväliseinien suhde bruttoalaan 1.1 x
- Välipohjien ja katon suhde bruttoalaan 1.0 x
- Kalvomuovina rakennusmuovi, paksuus 0,2 mm, paino 180 g / m<sup>2</sup>

Näiden pohjalta päädyimme siihen, että pelkkä puuelementtinippujen muovitus nostaa kohteen kalvomuovijätteen määrän 1.7-kertaiseksi vastaavaan betonikohteeseen verrattuna. Jos sen lisäksi myös jokainen yksittäinen elementti on kauttaaltaan suojattu kalvomuovilla, nousee koko kohteen kalvomuovijätteen määrä peräti 4.4-kertaiseksi betonikohteeseen verrattuna.

## 4.5 Mallinnustyökalun kehittäminen

Tulosten perusteella kehitettiin mallinnustyökalu, jonka avulla voidaan arvioida kalvomuovijätteen määrä asuinrakentamisessa jo suunnitteluvaiheessa. Työkaluun syötetään lähtötietoina hankkeen bruttoala ja asuntojen lukumäärä.

Mallinnustyökalu on ilmainen ja se löytyy osoitteesta: <https://kalvomuovi.fi/>

## 4.6 Kalvomuovijätteen laadun arviointi

Työmaavierailujen aikana tarkkailtiin astioihin kerätyn kalvomuovijätteen laatua. Lisäksi jätehuoltotoimijoita haastateltiin heidän saamansa kalvomuovin laadusta. Laadulla tarkoitetaan tässä sekä kalvomuovin puhtautta että värillisyyttä/kirkkautta. Kirkas kalvomuovi voidaan värillistä monipuolisemmin hyödyntää jatkojalostuksessa. Puhtaus tarkoittaa, että kalvomuovi ei ole likaista (esim. pölyistä) ja että siinä ei ole seassa muita materiaaleja, kuten teippejä ja tarroja.

Havaintojen ja haastattelujen perusteella osassa hankkeita sotkeutunut likainen kalvomuovi ohjattiin laittamaan muihin jakeisiin, kuten energiajakeeseen (Kuva 4). Toisissa hankkeissa ohjeet eivät olleet yhtä selvät. Ilmeni myös, että jätehuoltotoimijat usein pesevät muovin ennen varsinaista prosessointia, jolloin puhtaan ja likaisen muovin erottelulle työmaalla ei nähty tarvetta. Työmaakäynneillä suoritetun silmämääräisen jäteastioiden tarkastelun perusteella likaisen kalvomuovin osuus oli suhteellisen vähäinen, arviolta alle 10 % kerätystä kalvomuovista.

Värillisyyteen liittyen, osassa hankkeita ohjeistus oli kerätä mustavalkoinen puutavaran suoja-muovi (PP/LDPE seos) ja villan värilliset muovikääreet erikseen omaan keräysastiaan. Toisissa hankkeissa puolestaan kaikki kalvomuovi kerättiin yhteen asiaan ja värillinen eroteltiin vasta jätehuoltotoimijan myöhemmässä prosessissa. Haastatteluiden ja työmaakäynnillä tehdyn jäteastioiden tarkastuksen perusteella värillisen kalvomuovin osuus oli kohteissa arviolta noin 15-30 %. Värillisen osuus riippuu mm. siitä miten villavalmistajat pakkaavat tuotteensa: käytetäänkö kirkasta kalvomuovia vai värillistä brändättyä kalvomuovia. Huomattavaa on myös, että puuelementtien suojauksessa käytetty kalvomuovi on pitkälti värillistä kalvomuovia.



Kuva 4 Esimerkki keräysohjeesta ja energijakeeseen laitetusta kalvomuovista

## 4.7 Kalvomuovien erilliskeräys: tunnistettuja haasteita ja parhaita käytäntöjä

Yhtenä osatavoitteena oli selvittää parhaita käytäntöjä työmaiden kalvomuovijätteen vähentämiseen, erilliskeräykseen ja kierrätykseen. Pääpaino oli erilliskeräyksen tarkastelussa. Hankkeiden välillä oli jonkin verran eroja siinä, miten hyvin erilliskeräys onnistui. Esimerkiksi kohteessa 1 oli tehty erittäin tarkat suunnitelmat eri jättejakeiden keräämisestä ja ohjeet viestittiin selkeästi työntekijöille. Kohteessa 2 puolestaan kalvomuovin erilliskeräyksestä päätettiin melko myöhään ja tämä vaikeutti keräyksen onnistumista. Kohteessa 3 kalvomuovin jätehuoltotoimijalla oli oma prosessi kalvomuovin jatkoerittelyyn mm. värillisiin ja kirkkaisiin.

Taulukkoon 16 on koottu keskeiset tunnistetut haasteet ja hyvät käytännöt. Keskeistä onnistuneelle erilliskeräykselle on suunnitelmallisuus ja eri sidosryhmien, kuten urakoitsijoiden, asentajien, siivoojien ja työnjohtajien sitouttaminen toimintamalliin. Erilliskeräyksestä tulisi sopia riittävän aikaisin ennen työmaavaiheen aloittamista, koska tällöin keräyskäytännöistä voidaan sopia jo alurakoiden sopimisen yhteydessä. Viestintä, selkeät opasteet ja työntekijöiden perehdyttäminen on myös tärkeää. Kansainvälisellä työmaalla tulee huolehtia, että ohjeet ja opas-

tus ovat saatavilla eri kielillä. Koulutuksella ja opastuksella vaikutetaan myös asenteisiin. Haasteena voi myös olla, että erilliskeräyksen ohjeistukset vaihtelevat työmaittain tai se, että työntekijät ovat kotonaan oppineet lajittelemaan kaiken muovin yhteen astiaan.

Taulukko 16 Tunnistettuja kalvomuovien erilliskeräyksen haasteita ja hyviä käytäntöjä

Haasteita	Hyviä käytäntöjä
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Työntekijöiden kieli- ja kulttuuriesteet</li> <li>• Lyhyitä työmaakäyntejä tekevät vaikeaa sitouttaa ja kouluttaa malliin</li> <li>• Epäselvyydet kuka tyhjentää täyden astian kerroksesta piha-astiaan</li> <li>• Työmaan tilanpuute usealle jätteastialle</li> <li>• Rahalliset kannustimet: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jättemaksun säästö hupenee keruun, jätteastian ja tyhjennyksen lisäkustannuksiin</li> </ul> </li> <li>• Erilliskeräyksen ohjeet vaihtelevat työmaittain: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pakkaus- ja/tai suojamuovit</li> <li>• Kaikki LDPE pehmeät pakkausmuovit vai esim. villan muovikääreitä ja puutavaran suojamuovit erikseen</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Työnjohdon sitouttaminen ja keräämisen onnistumisen mittaaminen (KPI:t)</li> <li>• Kerroskohtaiset suunnitelmat ja ohjetulot jätelajeittain</li> <li>• Riittävästi keräysastioita lähellä työpistettä</li> <li>• Työntekijöiden sitouttaminen ja perehdyttäminen</li> <li>• Täysipäiväiset siivoajat, jotka sitoutuneet keräykseen ja "omistavat" prosessin <ul style="list-style-type: none"> <li>• Urakoitsijat siivoavat kerrospisteisiin, josta eteenpäin siivoojien vastuulla</li> </ul> </li> <li>• Jätteastioiden älykäs sijoittelu työmaalla <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arvokkaimmat jakeet lähimpänä</li> <li>• "Rakennusjätettä pihan perällä, avain vain siivoojilla"</li> </ul> </li> <li>• Pinottavat ja osastoivat jätteastiat, puristimet</li> </ul>

Työntekijöiden lyhyet visiitit aiheuttavat haasteen keräyksen onnistumiselle. Lyhyitä tehtäviä tekeville ei voida antaa perusteellista koulutusta vaan erilliskeräyksen ohjeet tulee olla nopeasti omaksuttavissa. Erilliskeräys vaatii jätteastioita sekä kerroksissa että työmaalla. Näille voi olla hankala löytää tilaa. Tutkimuksen aikana ilmeni, että vaikka innovatiivisia ja tilaa säästäviä astioita on olemassa, valtaosa markkinoilla tarjottavista astioista on edelleen lavoja ja muita enemmän tilaa vieviä ratkaisuja. Puristin todettiin työmailla hyödylliseksi keräysastiaksi kalvomuoville.

Kerroksissa tapahtuva jätteiden lajittelu on lähes välttämätöntä onnistuneelle erilliskeräykselle. Kerroksissa toimivin ratkaisu on läpinäkyvä jättesäkki telineessä. Kerroksissa tulee panostaa siihen, että pelisäännöt siitä kuka tyhjentää täyden säkin piha-astiaan ovat selvät. Yhdessä hankkeessa todettiin toimivaksi, että siivoajat vievät täydet säkit piha-astiaan.

Pihamaalla jätteastioiden sijoittelulla voidaan vaikuttaa erilliskeräyksen houkuttelevuuteen. Peruseriaatteena tulisi olla, että jätettä sijaitsevat samalla alueella, mutta arvokkaimpien jakeiden astiat, kuten kalvomuovin astia, on sijoitettu lähimmäksi työntekijöiden luontaisia kulkureittejä. Eräs jätetuoltotoimija mainitsi, että jättämällä energiajätteen kokonaan pois työmaalta kannustetaan parhaiten eri jättejakeiden syntypaikkalajitteluun.

Vaikka tutkimuksessa ei varsinaisesti tarkasteltu kalvomuovien erilliskeräyksen kustannusvaihtavuutta, saatiin dokumenteista ja haastatteluista tietoa kustannustekijöistä. Päälöydös oli, että erilliskeräyksestä saatava jättemaksujen säästö (kalvomuovi vs. energiajäte tai sekajäte) hupenee tyypillisesti keräyksen lisäkustannuksiin, joita aiheuttavat astioiden vuokrat ja tyhjennykset. Suorilla rahallisilla hyödyillä kalvomuovien erilliskeräystä on siis melko vaikea motiivoida.

## 5 Tulosten yhteenveto ja pohdinta

Tässä tutkimuksessa selvitettiin rakennustyömailla syntyvän kalvomuovijätteen määrää ja laatua. Tutkimus on ensimmäinen, joka arvioi kattavasti rakennustyömaalta peräisin olevaa kalvomuovijätettä. Aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet joko koko muovijätteeseen tai tarkastelleet vain pakkauksista syntyvää muovijätettä (Pericot ym., 2014; Pericot & Merino., 2011; Häkkinen ym., 2014). Aiempiin tutkimuksiin verrattuna tämä tutkimus poikkesi myös siinä, että kalvomuovi erilliskerättiin työmaalla eikä sen määrää arvioitu teoreettisesti esim. tuotteiden perusteella tai jälkikäteen tapahtuvan lajittelun yhteydessä.

Tutkituissa betonielementtikohteissa kerättiin kalvomuovijätettä keskimäärin 0,33 kg / bruttoneliö. Määrä asettuu aiempien Espanjassa tehtyjen tutkimusten tulosten välimaastoon (0,13-0,52 kg / 100 m<sup>2</sup>, Pericot & Merino, 2011; Pericot ym., 2014). Myös kaikkien kolmen hankkeen tulokset (0,29-0,41 kg / 100 m<sup>2</sup>) asettuvat aiempien tutkimusten tulosvälin sisään. Tosin näistä aiemmista tutkimuksista ei selviä miten kohteiden neliömäärät on tarkalleen laskettu. Yhteenvetona voidaan todeta, että tulokset ovat linjassa aiemman tutkimuksen kanssa, mutta ne tarkentavat kalvomuovijätteen määrän vaihteluväliä, etenkin suomalaisessa kerrostalorakentamisessa.

Tulosten mukaan kalvomuovijätettä syntyy eniten sisävalmistusvaiheessa, etenkin kalusteista, ikkunoista ja ovista, laatoituksesta, alakatoista ja loppusiivouksen yhteydessä puretuista suojauksista. Pericot ym. (2014) tutkimus painotti jonkin verran enemmän runkorakentamisesta syntyvää kalvomuovijätettä ja toisaalta vähemmän talotekniikan osuutta. Osaltaan ero voi johtua siitä, että tämä tutkimus tarkasteli ennen kaikkea ajankohtaa, jolloin kalvomuovijäte on syntynyt ja kerätty, kun taas Pericotin tutkimus painotti enemmän itse tehtäviä. Esimerkiksi ikkunat asennetaan usein runkovaiheessa, mutta niiden pintoja suojaava muovi poistetaan vasta työmaavaiheen lopussa.

Tämä tutkimus oli myös ensimmäisiä, jossa tehtiin vertailua betoni- ja puukohteiden välillä. Puukohteita markkinoidaan usein ympäristöystävällisinä ja kestävinä vaihtoehtoina. Kalvomuovin osalta kuitenkin puukohteet näyttäisivät tuottavan merkittävästi enemmän jätettä rakentamisen aikana. Riippuen elementtien suojaustavoista, rankarakenteisista tasoelementeistä koostuva puukohde tuottaa arvolta 1,7-4,4 kertaa betonikohdetta enemmän kalvomuovijätettä. Tulosten perusteella kalvomuovin erilliskeräys ja kierrätys on erityisen kannattavaa puukerrostalokohteissa.

Työmaiden havaintojen ja analysoinnin perusteella kalvomuovin värillisyys tai likaisuus ei aiheuta merkittäviä esteitä erilliskeräykselle. Likaisuus tai värillisyys voi silti olla merkittävä este erilliskerätyn kalvomuovin käytölle kierrätysraaka-aineena uudelleen tuotannossa. Värillisen ja likaisen kalvomuovin osuus on arviolta 15-30 % kokonaismäärästä. Puukohteissa värillisen

kalvomuovin osuus on tyypillisesti betonikohteita suurempaa. Jätehuoltotoimijoiden erilaiset käytännöt esim. muovin pesussa ja jatkolajittelussa ohjaavat tällä hetkellä työmaita erilaisiin keräyskäytäntöihin värillisen ja likaisen kalvomuovin osalta.

Työmaiden tarkempi tarkastelu paljasti, että onnistunut kalvomuovin erilliskeräys vaatii huolellista ja riittävän aikaista keräyksen suunnittelua ja osapuolten sitouttamista. Aikaisempi tutkimus osoittaa, että urakoitsijat ja työntekijät ovat usein haluttomia suorittamaan aikaa ja työvoimaa vaativaa jätteiden tarkkaa syntypaikkalajittelua työmaalla (mm. Poon ym., 2001 ja Pericot ym., 2014). Päätökset kalvomuovin erilliskeräyksestä tehdään vielä pitkälti hanketasolla. Laajamittaisempi erilliskeräys vaatisi, että merkittävät rakennuttajat ja pääurakoitsijat linjaisivat koko liiketoimintayksikön tai yrityksen tasolla kalvomuovin erilliskeräyksen pysyväksi toimintatavaksi.

Tutkimuksen tulokset ovat suuntaa antavia ja niiden yleistettävyyteen liittyy useita epävarmuustekijöitä. Ensinnäkin analyysi perustuu valtaosin kolmeen valmistuneeseen betonielementtikeräykseen, jotka eivät välttämättä kuvaa koko kerrostalorakentamisen kenttää. Laajemmalla aineistolla luultavasti saataisiin monipuolisempia tuloksia. Tarkastellut kohteet kuitenkin edustavat niitä hankkeita, joissa tällä hetkellä on sitouduttu kalvomuovin keräykseen ja siksi tulokset ovat vähintään suuntaa antavia.

Toisekseen, vaikka kalvomuovin keräys onnistui hankkeissa pääosin hyvin, jonkin verran muovia päätyi myös muihin jäteastioihin. Sen vuoksi todellinen kalvomuovijätteen määrä on tässä tutkimuksessa tunnistettua jonkin verran suurempi. Esitettyjä tuloksia tuleekin tulkita alarajana kalvomuovin todelliselle määrälle.

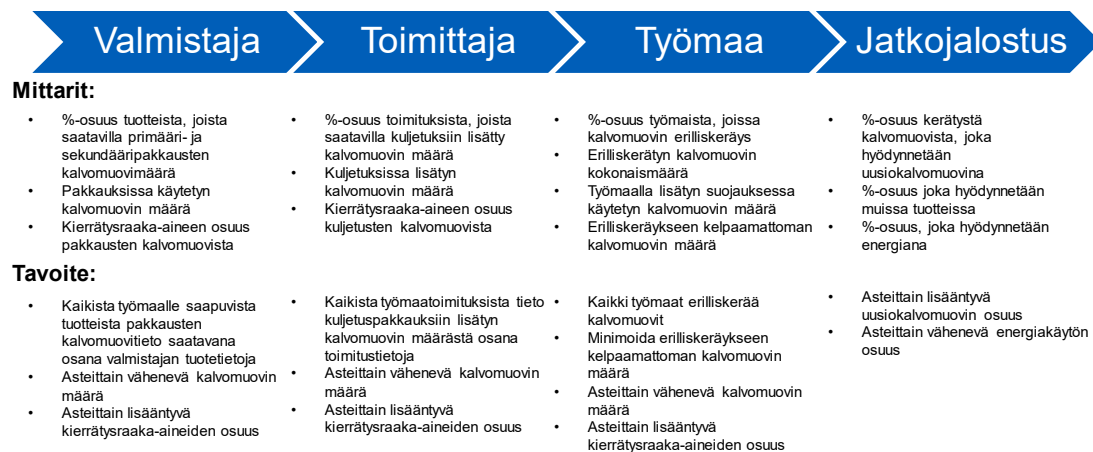
Kolmanneksi kalvomuovin kohdentamisessa tehtäville käytettiin intensiteettikerrointa, joka perustuu osittain subjektiiviseen arvioon. Tämä sekä rakentamisen työmaa-aikataulun epätarkkuus ja pitkä jäteastian tyhjennysväli heikensivät kalvomuovin määrän tehtäväkohtaisen kohdentamisen tarkkuutta. Sen vuoksi etenkin tehtävä- ja vaihekohtaisiin tuloksiin liittyy epävarmuutta. Tarkempi aikataulu, jatkuva työmaan seuranta sekä tiheämpi astian punnitusväli mahdollistaisivat tarkemmat tulokset. Tämä vaatisi kuitenkin suurempaa tutkimustyömäärää sekä tutkitulta työmaalta lisäpanostusta. Tässä hankkeessa työmaiden tutkimus pyrittiin tekemään mahdollisimman pitkälti työmaan arkea häiritsemättä.

## 6 Johtopäätökset ja suositukset

Tämä tutkimus osoitti, että asuinkerrostalojen uudisrakentamisessa syntyy paljon kierrätettävää kalvomuovia, vaikka sen osuus rakennushankkeen jätteiden kokonaismäärästä, etenkin painona mitattuna, on suhteellisen vähäinen. Koko kerrostalorakentamisen volyyymiin suhteutettuna (26 887 valmistunutta asuntoa vuonna 2021, lähde: Tilastokeskus) vuosittainen asuinkerrostalohankkeissa Suomessa syntyvä kalvomuovijätteen määrä on noin 704,4 tonnia.

Tehokkailla kierrätysmenetelmillä kalvomuovin erilliskeräyksestä saadaan nykytilanteessa kustannusneutraalia. Varsinainen hyöty syntyy ympäristövaikutuksista ja epäsuorista taloudellisista hyödyistä, joita ovat mm. parempi mielikuva rakentajasta ja rakennuttajasta ja tämän näkyminen asiakkaan ostokäyttäytymisessä. Tehokas kalvomuovijätteen erilliskeräys vaatii aikaista sitoutumista rakennuttajalta ja pääurakoitsijalta, sekä suunnitelmallisuutta, ohjeistukseen ja koulutukseen panostamista ja tarkoituksenmukaisia keräysvälineitä.

Kalvomuovijätteen määrästä ja lähteistä tarvitaan nykyistä täsmällisempää tietoa. Kuvaan 5 on koottu suosituksia mittareista, joilla kalvomuovin arvoketjun eri toimijoiden tulisi mitata toimintaansa. Osa mittareista ja niihin liittyvistä tavoitteista koskee tiedon saantia kalvomuovien määrästä, osa kalvomuovin määrän vähentämistä ja kierrätyksen onnistumista.



Kuva 5 Kalvomuovin mittaaminen rakentamisen arvoketjussa

Tuotevalmistajilta ja koko logistiselta ketjulta tarvitaan nykyistä tarkempaa tuote- ja toimituseräkohtaista tietoa kalvomuovin määristä ja kierrätysraaka-aineen osuuksista erilaisissa pakkausissa. Tieto tulisi tuottaa osana standardimuotoisia tuotetietoja ja esittää myös digitaalisissa tuotetietokannoissa. Tämä tieto auttaa tunnistamaan keinoja vähentää kalvomuovin käyttöä ja varmistamaan, että kaikki arvoketjussa syntyvä kalvomuovi saadaan kerättyä talteen.

Työmaalla tavoitteiden ja mittaamisen pääpaino tulee olla ensin erilliskeräyksen ulottamisessa kaikkiin hankeisiin. Lisäksi tulee systemaattisesti kerätä tietoa kalvomuovin kokonaismäärästä

ja pyrkiä vähentämään tätä sekä erilliskeräykseen kelpaamattoman kalvomuovin määrää. Jatkojalostajien osalta oleellista on asettaa tavoitteita lisääntyvälle uusiokalvomuovin osuudelle ja vähentää hyödyntämistä mm. energiantuotannossa.

Tutkimustulosten pohjalta kehitettiin vapaasti käytössä oleva mallinnustyökalu (kalvomuovi.fi), jonka avulla rakennushankkeeseen ryhtyvä voi arvioida hankkeen laajuustietojen pohjalta kalvomuovijätteen määrää ja tehdä sen pohjalta suunnitelmia erilliskeräystä varten. Suosituksena on, että Rakentamisen muovit green deal-sopimuksen osapuolet sitoutuvat käyttämään mallinnustyökalua asuinkerrostalokohteissaan ja toimittamaan tiedot toteutuneesta kalvomuovin erilliskeräyksestä mallin kehittäjille, jotta työkalua voidaan jatkuvasti parantaa. Mallinnustyökalun antama arvio kalvomuovijätteen määrästä toimii myös hyvänä vertailuarviona, kun hankkeen aikana arvioidaan erilliskeräyksen onnistumista. Mikäli toteutunut erilliskerätyn kalvomuovijätteen määrä on merkittävästi mallinnustyökalun arvoa alhaisempi, on todennäköistä, että kalvomuovia on päätynyt muihin jätejakeisiin. Samalla täytyy muistaa, että kalvomuovijätteen korkea määrä ei ole itsessään tavoiteltavaa vaan pidemmällä aikavälillä tulee koko toimitusketjulle asettaa tavoitteita kalvomuovin käytön vähentämiselle.

Tutkimustuloksena saatu asuinkerrostalohankkeiden kalvomuovijätteen määrä (erityisesti 0,33 kg / bruttoneliö) toimii hyvänä lähtökohtana tavoitteen asettamiselle tulevaisuuteen. Ensimmäisinä vuosina kun pääpaino on erilliskeräyksen lisäämisessä, tavoitteeksi voidaan asettaa 0,33 kg / bruttoneliö keräysmäärä kohteissa. Kun pakkaus- ja suojausmenetelmiä aletaan optimoimaan ja kehittämään, uudet tavoitteet tulee asettaa alemmaksi, asteittain esim. 20-30 % nykytilan alapuolelle. Kalvomuovijätteen määrien selvittäminen ja tavoitteen asetanta tulee kohdistaa tulevaisuudessa myös muihin rakennustyyppeihin. Asuinkerrostalojen jälkeen selkein selvitettävä rakennustyyppi olisi koulut ja päiväkodit.

Rakentamisen kalvomuovin käytön optimoimiseksi tarvitaan systemaattista yhteistyötä kaikkien toimitusketjun osapuolten kesken. Kalvomuovi on monelta osin ylivertainen materiaali rakentamisen tuotteiden pakkauksissa ja suojauksissa. Samalla kun kalvomuovin keräystä kehitetään, tulee kohdistaa toimia myös kalvomuovin tarpeettoman käytön vähentämiseen, uusiokalvomuovien kehittämiseen ja kalvomuovin korvaamiseen muilla ympäristöystävällisimmillä materiaaleilla ja pakkausratkaisuilla.

# Lähteet

Awoyera, P. ja Adesina, A. (2020). Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. *Case Studies in Construction Materials*, 12.

BRE Group Company (2005). Establish Tonnages and cost effectiveness of collection of construction site packaging waste. The waste and resources action programme. Building Research Establishment (BRE), Oxon, United Kingdom.

Cimpan ym. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environment Management*, 156, pp. 181–199.

Drobny (2007). Recycling of thermoplastic elastomers J.G. Drobny (Ed.), *Handbook of Thermoplastic Elastomers*, William Andrew Publishing. Norwich, NY.

European Plastics Pact (2019). Towards the circular plastic economy, Brussels.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, 3 (7). Saatavilla: <http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782/tab-pdf>.

Häkkinen, T., Kuittinen, M., ja Vares, S. (2019). Plastics in buildings. Ministry of Environment, Helsinki.

Hannay, F. (2002). Rigid plastics packaging - materials, processes, and applications. *Rapra Review Reports*, 13 (7).

Headley Pratt Consulting (1996). Understanding plastic film: Its uses, benefits and waste management options. Saatavilla: <https://plastics.americanchemistry.com/Understanding-Plastic-Film/>

Hellström, D. ja Sagir, M. (2007). Packaging and Logistics Interactions in retail supply chains. *Packaging Technology and Science*, 20, pp. 197–216.

Horodytska ym. (2018). Plastic flexible films waste management – A state of art review. *Waste Management*, 77, pp. 413–425.

Jang, ym. (2020). Recycling and management practices of plastic packaging waste towards a circular economy in South Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 158.

Jeffrey, C. (2011). *Construction and Demolition Waste Recycling: A Literature Review*.

Kosonen, H. ja Varis, T. (2018). Reduce and refuse, recycle and replace: A plastic roadmap for Finland. Helsinki.

Liikanen ym. (2018). Rakennusjätteen koostumustutkimus – Etelä-Karjala. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, tutkimusraportit.

Mark, B. (2021). The ashley plastics renewal facility. Saatavilla: <https://www.brightmark.com/work/ashley-plastics-renewal-facility/>

Material Economic (2018). The Circular Economy - a powerful force for climate mitigation. Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. Helsinki.

Mikkonen ym. (2020). Rakentamisen muovit green deal -sopimus 2020-2027. Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavilla: [https://www.sitoumus2050.fi/green-deal/Rakentamisen\\_muovit](https://www.sitoumus2050.fi/green-deal/Rakentamisen_muovit)



Monahan, J. ja Powell, J. C. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*, 43(1), pp. 179–188.

Muoviteollisuus ry (2021). A versatile industry with limitless possibilities. Saatavilla: <https://www.plastics.fi/eng/home/> [5.5.2021].

Naderifar ym. (2017). Snowball sampling: a purposeful method of sampling in qualitative research. *Strides Development of Medical Education*, 14(3), pp.

Napier (2016). Construction waste management. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center / Construction Engineering Research Laboratory, WBDG.

Pericot ym. (2014). Production patterns of packaging waste categories generated at typical Mediterranean residential building worksites. *Waste Management*, 34(11), Pp. 1932–1938.

Pericot, N.G. ja Merino, M.D.R (2011). Management of waste from packaging of construction materials in building construction works. *Construction and Building Technology*, 5, pp. 149–155.

Piispa, P. (2019). Muovi on arvokas materiaali- rakentamisen muovitiekartan toteutus, ARA – lehdessä, syyskuu.

Plastic Europe (2019). Overview plastic waste from building & construction by polymer type and by recycling, energy recovery and disposal – 1. Saatavilla: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/5730/5565/BC\\_Table.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/5730/5565/BC_Table.pdf) [5.5.2021].

Plastic Europe (2020). Production of plastics worldwide from 1950 to 2019 (in million metric tons). Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

Polymer database (2021). Polymer Properties Database. Saatavilla: <http://polymerdatabase.com/Films/PlasticFilms2.html> [5.5.2021].

Ramboll (2020). Kalvomuovien erilliskeräyksen työmaaopas: Muovitiekartta Suomelle. Ympäristöministeriö, Helsinki.

RSE (2013). Analysis of Flexible Film Plastics Packaging Diversion Systems. Reclay stewardedge: Product stewardship solutions.

Ronkanen, M. (2016) Rakennus- ja purkujätteen lajittelun kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Ruuska, A., ja Häkkinen, T. (2015). The significance of various factors for GHG emissions of buildings. *International Journal of Sustainable Engineering*, 8(4–5), pp. 317–330.

Schiavoni ym. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp. 988–1011.

Selke, S.E.M. ja Culter, J.D. (2016). *Plastics Packaging: properties, processing, applications, and regulations* (3rd edition), Hanser Publications.

Seyring ym. (2015). Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU Final report. European Commission.

Snyder, M. (2016). Area of specialization. Recycling plastic film requires specialized technology. *Recycling today*. Saatavilla: <https://www.recyclingtoday.com/article/area-of-specialization> [5.5.2021]

Sorema (2021). Plastic film recycling. Saatavilla: [http://sorema.it/en\\_US/applications/plastic-](http://sorema.it/en_US/applications/plastic-)

film-recycling [5.5.2021].

Statista (2015). Distribution of plastic film demand worldwide in 2015, by region. Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/687484/plastic-film-volume-shares-worldwide> [6.5.201].

Talo 2000 (2000). Talo 2000 rakennustuotenumikkeistö. Saatavilla: [https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5k2Ih5ORz/U93r9aP09/Talo2000\\_nimikkeisto\\_yleislose\\_loste\\_Rakennustuotenumikkeisto.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5k2Ih5ORz/U93r9aP09/Talo2000_nimikkeisto_yleislose_loste_Rakennustuotenumikkeisto.pdf).

US EPA (2016). Volume-to-Weight Conversion Factors, U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery, April 2016. Saatavilla: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-04/documents/volume\\_to\\_weight\\_conversion\\_factors\\_memorandum\\_04192016\\_508fnl.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-04/documents/volume_to_weight_conversion_factors_memorandum_04192016_508fnl.pdf)

WRAP (2016). Plastic market situation report.

WRAPa (2016). Collection and Recycling of Household Plastic Film Packaging, UK.

Yle (2020). Thursday's papers: Birth rate hope, good jobs and Finland's war on plastic. Yle news. 30 January. Saatavilla: [https://yle.fi/uutiset/osasto/news/thursdays\\_papers\\_birth\\_rate\\_hope\\_good\\_jobs\\_and\\_finlands\\_war\\_on\\_plastic/11183714](https://yle.fi/uutiset/osasto/news/thursdays_papers_birth_rate_hope_good_jobs_and_finlands_war_on_plastic/11183714)

Yle (2021). Report: Majority of sorted plastic waste incinerated. Yle news. 5.4.2021. Saatavilla: [https://yle.fi/uutiset/osasto/news/report\\_majority\\_of\\_sorted\\_plastic\\_waste\\_incinerated/11870449](https://yle.fi/uutiset/osasto/news/report_majority_of_sorted_plastic_waste_incinerated/11870449)

Ympäristöministeriö (2020). Rakentamisen muovit -työpajasarja 2020. Lahti.

Ympäristöministeriö (2020a). Rakentamisen muovit -muovitiekartta suomelle. Helsinki.