



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Circwaste-hanke saa EU:lta rahoitusta, jolla hankkeen materiaalit on tuotettu. Materiaaleissa esitetty sisältö edustaa kuitenkin ainoastaan hankkeen omia näkemyksiä, joista EU:n komissio ei ole vastuussa.

**Raportti PE-LLD-jätemuovin uusiokäyttöön liittyvistä tutkimuksista ja uusiokäytön erilaisista liiketoimintamalleista**

**(C.19\_2 Report on plastic waste recovery business model (including replication strategy))**

KARELIA-AMMATTIKORKEKOULU

Simo Paukkunen

Juri Olifirenko



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Tässä raportissa käsitellään ja verrataan CIRWASTE-hankkeen ensimmäisen muovikokeen (myöhemmin koe 1) (Korhonen et al 2019) tuloksia toukokuussa 2022 tehdyn toisen muovikokeen (myöhemmin koe 2) tuloksiin. Työpaketista on julkaistu jo kaksi aiempaa raporttia (Kinnunen & Kupiainen 2019, Korhonen et al. 2019), mutta rahoittajan pyynnöstä Karelia täydentää kokonaisuutta vielä business model ja replication strategy -osuuksilla, joka toteutetaan tämän raportin myötä.

## Käytännön koe 2 toteutus ja tulokset

Koe 2 suoritettiin 9.5.2022 Karelia ammattikorkeakoulun laboratorioissa. Vetokoe suoritettiin Instron 3367 aineenkoeistuslaitteistolla sekä BlueHill-ohjelmistolla. Vetokokeessa määritettiin samat arvot kuin edeltävässä kokeessa (Korhonen et al 2019) eli vetolujuus ja kimmokerroin. Koestusohjelman parametriset arvot olivat myös samat, veto 50 mm/min ja kokonais- vetomatka n.200 mm.

Testauksia suoritettiin 10 x kpl per kierrätysmuovilaatu eli yhteensä 20 kpl. Testaus on suoritettu huoneenlämmössä (+23 °C).

Tässä toisessa tutkimuksessa (koe 2) testattiin kahden eri materiaalin vastusta ja materiaalin eroja sekä verrattiin materiaalsen ominaisuuksia aikaisemman tutkimuksen (Korhonen et al) tuloksiin. Tässä tutkimuksessa 100 % PE-LLD materiaali otettiin käsin maatilasta, ja likainen/märkä materiaali hienonnettiin Konepa M Pappisen murskaimella (kuva 1).



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 1. Konepaja M. Pappisen tekemä muskain, jolla maatalousmuovi murskattiin.



Kuva 2. Murskattua maatalousmuovia.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Murskattu materiaali kuljetettiin Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkala Energiapuistoon, jossa materiaali hienonnettiin traktorikäyttöisellä puukkomyllyllä (kuva 3).

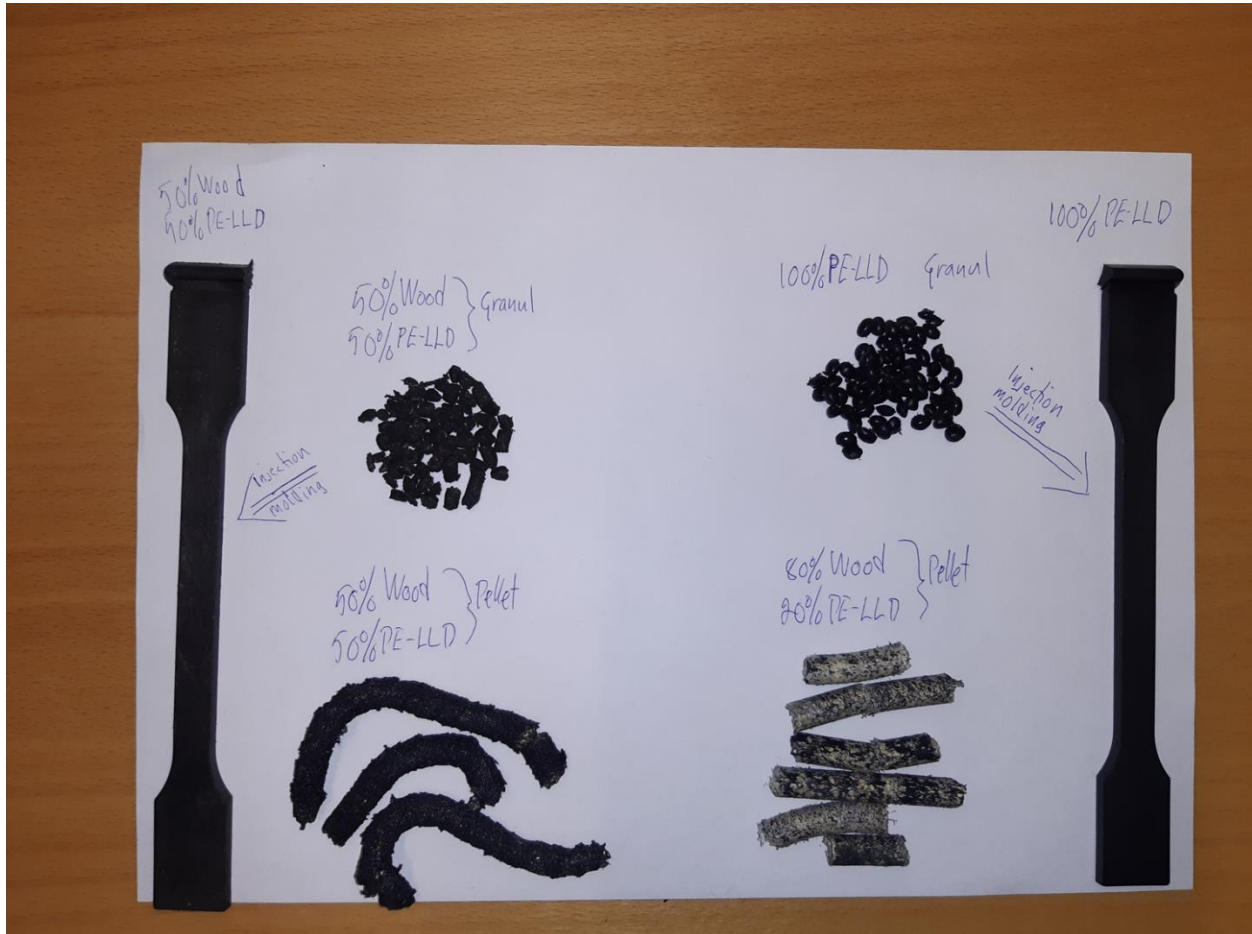


Kuva 3. Traktorikäyttöinen puukkomylly.

Materiaali oli näin valmista granulointiin ja pelletointiin. PE-LLD 100% materiaalia ja 50%/50% (puu/PE-LLD) sekoitemateriaalia lähetettiin Elastopoli OY:lle, jotka valmistivat kummastakin materiaalista granulaaatteja (kuva 4).



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 4. Kuvassa oleva granulaatit 100% PE-LLD ja 50% wood/50% PE-LLD ovat Elastopoli Oy:n valmistamia. Riveria teki Karelia-ammattikorkeakoulun omistamalla ruiskuvalumuoteille kuvassa laidoilla näkyvät vetosauvat, joille suoritettiin myöhemmin vetokokeet muovin laadun selvittämiseksi.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Karelia Ammattikorkeakoulu valmisti vielä 50 %/50 % suhteella sekoitepellettejä pellettikoneella, jossa oli käytössä ulkopuolinen lämmityspanta (kuva 5).



Kuva 5. Sekoitepelletti 50 % / 50 % valmistus pellettikoneella.

## Muovin laatuun liittyvät tutkimukset 05/2022

Tämän vetokokeen tuloksia verrataan aiemmin suoritettuun vetokokeen tuloksiin (koe 1), jotta saadaan hyvä vertailuarvo esipestyn ja pesemättömän kierrätysmuovin välillä

Koe 1 testauksessa on käytetty kaupallisen valmisteen kierrätysmuovi tuotetta, joka on peräisin Pohjanmaan muovikierrätys Oy Lieksan lopettaneelta tuotantolaitokselta. Nämä granulaatit valmistettiin

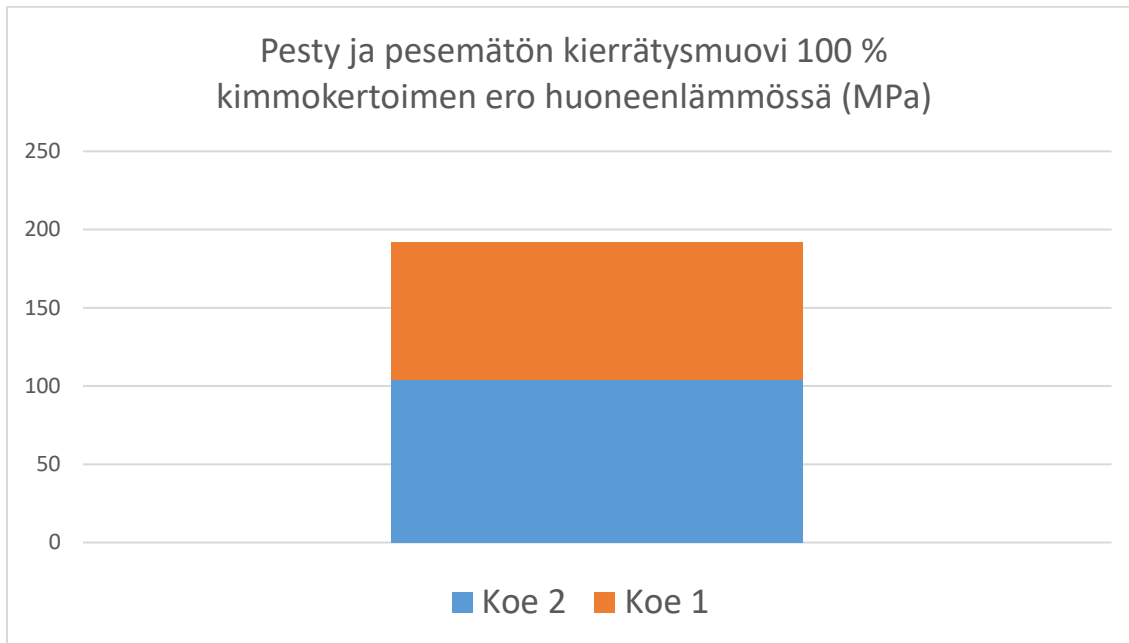


LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



kolme kertaa pestystä maatalouden PE-LLD jätemuovista. Koe 2 tilanteessa on pesemätön ei kaupallisen valmisteen kierrätysmuovi.

Kaavio 1. Kimmokertoimen vertailu aiempiin tuloksiin 100 % kierrätysmuovi. Koe 1 tulos: 192 MPa. Koe 2 tulos: 104 MPa

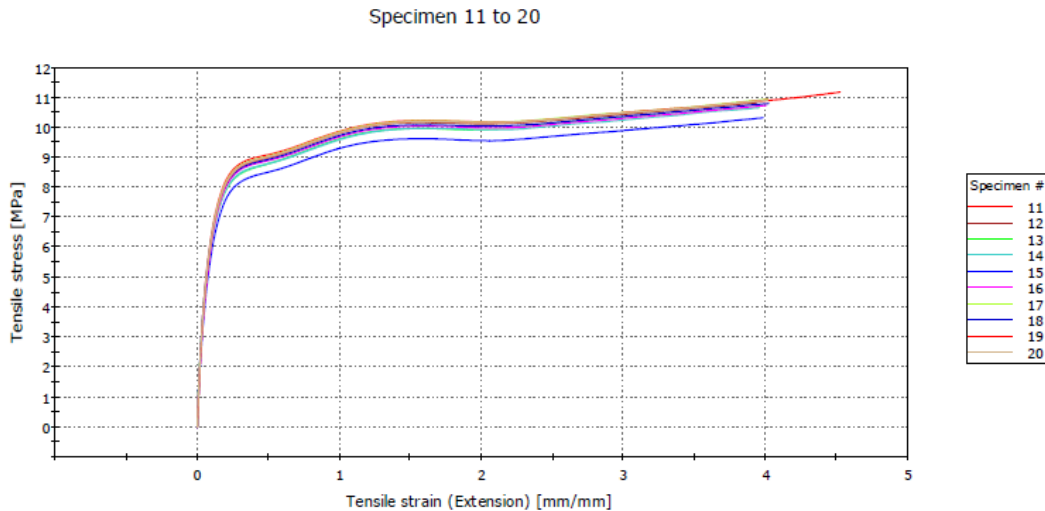




LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kaavio 2. Vetokäyrä testatusta kierrätysmuovi 100 % testikappaleista.



Huomioitavaa ruiskuvaletuista kierrätysmuovin testauskappaleista.

Kierrätysmuovi granulaatista valmistettu testikappale on tahmea koskettaa ja omaa imelän hajun. Haju luultavasti johtuu maitohappobakteerista, jota on päätynyt muoviin elinkaarenaikana.

Tutkimus 2 muovigranulaateista (valmistettu maatalouden muoviraaka-aineesta, jota ei erikseen pesty eikä kuivattu esikäsittelyn aikana) valmistetut kappaleet käyttäytyivät eri tavalla kuin tutkimus 1 testauksessa käytetty 100 % muovi. Näiden kahden kokeen perusteella voidaan arvioida, että kokeen 2 testattava muovi on laadultaan erilainen kuin aiemmassa kokeessa 1 testattu muovi.

Tulosten perusteella pesemättömän muovi valmisteen kimmokerroin on melkein puolet pienempi (n. 46 %) kuin pesukäsittelyn käyneen muovin.





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 6. Kierrätysmuovi granulaatista valmistettu testikappale. Kuvasta näkee, pinnan tahmaisuuden.





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND

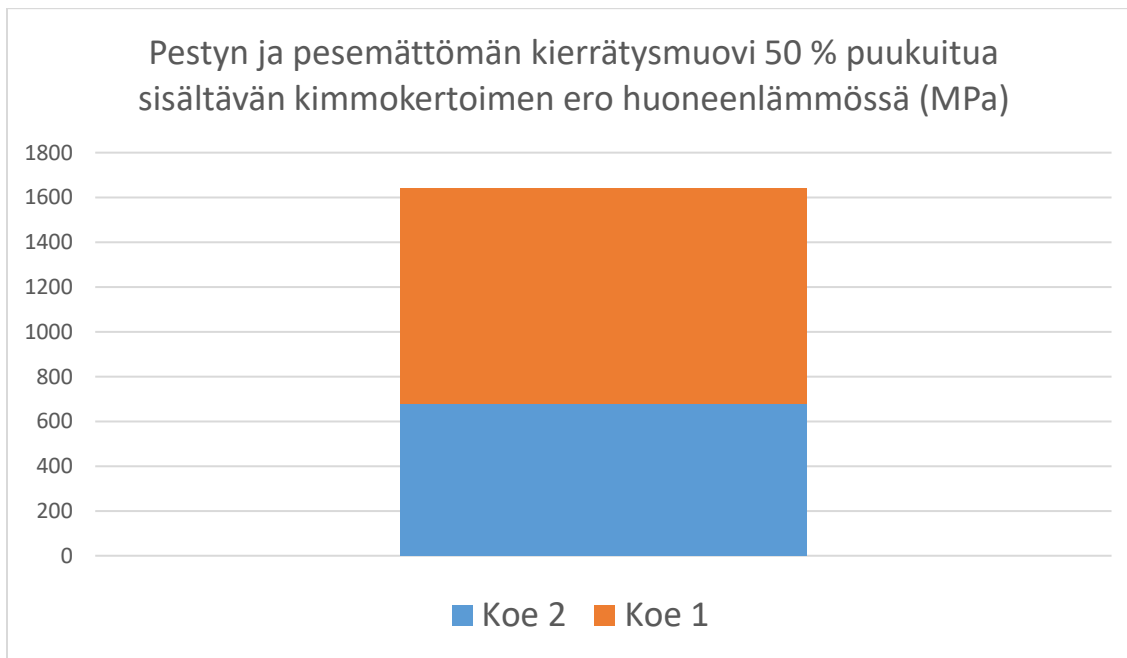


Puukuitua 50 % sisältäneet testikappaleet murtuivat.

Tulosten perusteella pesemättömän sekoitemuovin kimmokerroin on n. 59 % pienempi kuin koe 1 esipesukäsittelyn käyneen muovin.

Kaavio 3. Kimmokertoimen vertailu aiempiin tuloksiin, 50 % puukuitu muovi.

Koe 1 tulos: 1644 MPa. Koe 2 tulos: 679 MPa.

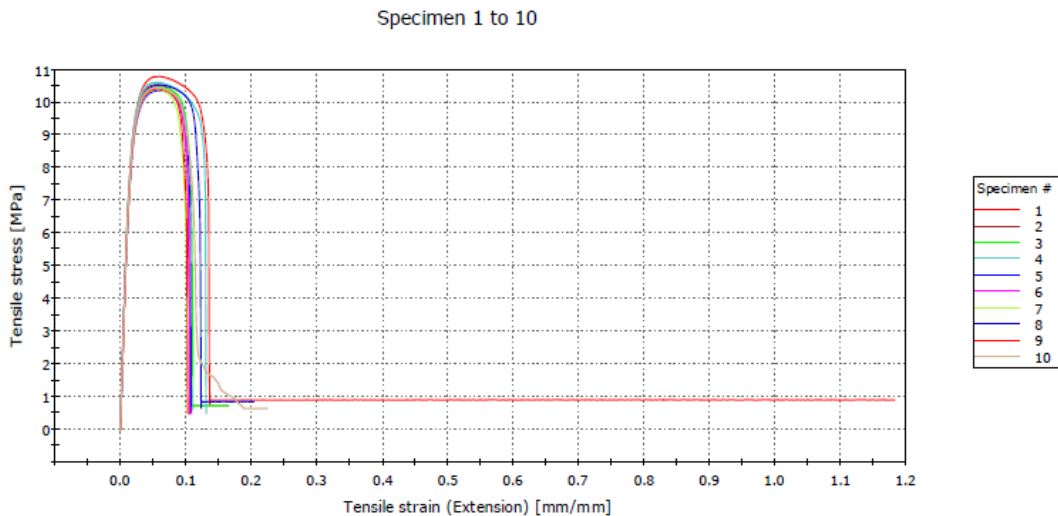




LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kaavio 4. Vetokäyrä 50 % puukuitu kierrätysmuovikappaleet.



Vetokokeen tuloksista huomaa, kuinka puukuitua sisältäneiden testikappaleiden laadussa on suuria rakenteellisia eroja.

Murtolujuus (Load at Break) arvot vaihtelevat 26,23 - 283,74 N välillä (taulukko 1) ja suurimmat heitot tapahtuvat testikappaleissa 1,2,3,8,10 joiden murtolujuus on erittäin alhainen.

Tulokset viittaavat siihen, että nyt testattujen testikappaleiden valmistustapa ei ole yhtä tasalaatuinen kuin aiemman testauksen kaupallisessa tuotteessa.

Testauskappaleiden puukuitu on peräisin Liperin höyläämöstä, joka sisältää mänty/kuusi -kuitu sekoitetta.

Puukuitua sisältävä testikappale omaa vahvan puun ja savun hajun. Testikappaleen pinnassa näkyy ja tuntuu rakenteinen epätasaisuus.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Taulukko 1. Vetokokeen tulokset. Testi nro. 1–10 puukuitua 5 0 %. nro. 11–20, 100 % muovia.

	Tensile stress at Yield [MPa]	Load at Break (Standard) [N]	Tensile strain (Extension) at Break (Standard) [%]	Tensile stress at Break (Standard) [MPa]	Tensile extension at Break (Standard) [mm]	Tensile stress at Maximum Load [MPa]
1	10,78450	36,70509	118,00652	0,91763	59,04326	10,78499
2	10,52765	29,67435	16,50321	0,74186	8,25161	10,54065
3	10,44756	29,58572	16,49913	0,73964	8,25161	10,46597
4	10,59361	283,74445	13,00049	7,09361	6,50159	10,60692
5	10,33227	135,79459	10,75350	3,39486	5,37675	10,35612
6	10,41010	227,04506	10,49975	5,67613	5,25166	10,41450
7	10,37873	225,80296	10,07747	5,64507	5,04332	10,39230
8	10,51948	34,58353	20,41993	0,86459	10,20996	10,52642
9	10,38989	233,81752	10,17000	5,84544	5,08500	10,39931
10	10,43698	26,23009	22,33377	0,65575	11,16825	10,44659
11	10,15774	447,40402	452,06318	11,18510	226,03159	11,18528
12	10,10971	433,24039	393,45996	10,83101	196,72998	10,83516
13	9,92275	427,62448	395,08677	10,69061	197,54338	10,69061
14	9,90687	426,46115	394,62464	10,66153	197,41824	10,66155
15	9,58245	413,05142	397,91269	10,32629	200,45641	10,32629
16	9,99730	429,73935	400,12674	10,74348	200,06337	10,74348
17	10,16113	437,89029	401,27659	10,94726	200,63829	10,94726
18	10,04511	432,18869	401,87306	10,80472	200,93654	10,80656
19	10,13983	437,02960	401,00331	10,92574	200,50166	10,92574
20	10,14485	436,78143	401,00350	10,91954	200,50175	10,91954
Maximum	10,78450	447,40402	452,06318	11,18510	226,03159	11,18528
Minimum	9,58245	26,23009	10,07747	0,65575	5,04332	10,32629
Mean	10,24943	279,21971	214,33871	6,98049	107,25021	10,64876
Median	10,24670	348,39793	255,77324	8,70995	127,88662	10,63423
Standard deviation	0,28392	173,21527	196,11292	4,33038	98,13543	0,23966
Range	1,20205	421,17393	441,98571	10,52935	220,98827	0,85900

Kuva 7. Puukuitua 50 % sisältävä testikappale.





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



## Yhteenveto koe 2 testikappaleiden tutkimuksesta

Tulosten perusteella on kannattavaa esikäsitellä kierrätysmuovi, koska pesemättömän kierrätysmuovin ominaisuudet kärsivät huomattavasti.

Oikein toteutettu syntypaikkalajittelun tärkeys korostuu kierrätysmuovin uusiokäytössä sekä kannattavuudessa.

Taulukko 2. Kimmokerroin tulokset. Testi nro. 1–10 puukuitu 50 %, testi nro. 11–20, 100 % kierrätysmuovi.

	Maximum Load [N]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
1	431,39954	663,76282
2	421,62616	679,81724
3	418,63889	642,50756
4	424,27686	689,89031
5	414,24487	668,69492
6	416,58008	654,75576
7	415,69186	664,42309
8	421,05698	787,76005
9	415,97226	655,35816
10	417,86346	687,50745
11	447,41132	111,62696
12	433,40643	102,62733
13	427,62448	104,61346
14	426,46191	101,56737
15	413,05142	92,48436
16	429,73935	98,14863
17	437,89029	108,82957

	Maximum Load [N]	Modulus (Automatic Young's) [MPa]
18	432,26230	107,48301
19	437,02960	105,21168
20	436,78143	109,84864
Maximum	447,41132	787,76005
Minimum	413,05142	92,48436
Mean	425,95047	391,84592
Median	425,36938	377,06726
Standard deviation	9,58630	296,43917
Range	34,35989	695,27569



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 8. Vetokokeen jälkeiset testikappaleet. Kierrätysmuovista valmistetut testikappaleet eivät katkenneet testauksessa vaan venyivät.

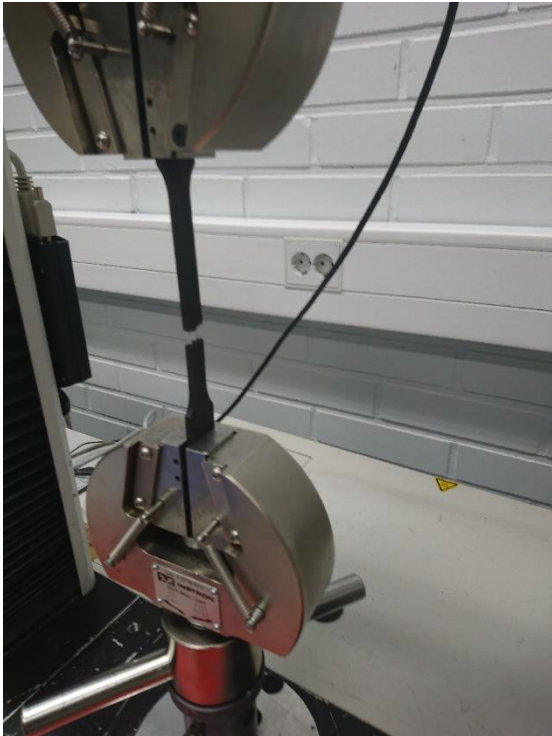




LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 9. Katkennut puukuitua sisältänyt testikappale vetokoelaitteistossa.





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



## Liiketoimintamallit (Business models)

Karelia-ammattikorkeakoulu suunnitteli (ja käytti myös todellisuudessa olevia liiketoimintamalleja) erilaisia teorioita liiketoimintamalleista, joilla voisi olla mahdollista saada hyödynnettyä maataloudesta tulevaa PE-LLD muovijätettä tehokkaasti.

### **Malli 1). Suuren kokoluokan muovigranulointi yksikkö, jonka kapasiteetti on suunnilleen Suomessa syntyvä PE-LLD maatalousjätemuovin verran.**

Tämä liiketoimintamalli on toteutunut ja käynnissä koko ajan, mutta mallin toteutumiseen Karelialla ei ole ollut mitään roolia. Käytännössä useat eri jätekuljetusyhtiöt kuljettavat maatalouden jätemuovia Merikarvialle, jossa Clean Plastic Finlandin tuotantotehdas valmistaa PE-LLD muovigranulaattia, jonka laatu on parhaimmillaan fossiilisesta raaka-aineesta valmistetun muovigranulaatin laadun veroista. Itä-Suomen näkökulmasta haasteena on hyvin pitkä kuljetusmatka (n. 500 km Joensuusta), jolloin varsinkin jätemateriaalin kosteus ja likaisuus nostavat kuljetuskustannuksia ja jalostuskustannuksia. Tässä toimintamallissa maatalouksien jätemuovi haetaan yksittäisiltä tiloilta ja raaka-aineelle ei tehdä jalostustoimenpiteitä ennen jalostustehdasta. Jätekuljetusyhtiö veloittavat maatalousyritystä palvelusta ja muovin jalostusyhtiö maksaa korvauksen jätekuljetusyhtiölle. Valmiille hyvälaatuiselle uusiogranulaatille on kysyntää juuri nyt (5/2022), Clean Plastic Finland:n tuotanto on käytännössä myyty jo etukäteen. Tuotteen (PE-LLD uusiogranulaatti) tasalaatuisuutta haittaa jäteraaka-aineen heterogeenisuus, raaka-aineenlaatu ei ole tasaista ja siitä valmistettu uusiogranulaatin laatu vaihtelee todella paljon.

### **Malli 2) Alueellinen Muovinjaloituslaitos, Pohjois-Karjalan alueella Joensuussa**

Tässä teoreettisessa mallissa raaka-aineen keräys ja kuljetus toteutettaisiin Tepposen (2019) logistiikkamallin mukaisesti Joensuuhun, jossa sijaitisi laitos, jonka kapasiteetti olisi noin 300 t vuodessa. Tepposen mukaan Pohjois-Karjalan alueella syntyy noin 250 t maatalouden PE-LLD jätettä





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



vuosittain, mutta raaka-ainetta voidaan saada myös rakennusteollisuuden jätevirroista. Tässä toimintamallissa maatalouksien jätekuljetusyrietykset hakevat jätemuovin yksittäisiltä tiloilta ja raaka-aineelle ei tehdä jalostustoimenpiteitä ennen jalostustehdasta. Jätekuljetusyhtiö veloittavat maatalousyritystä palvelusta ja muovin jalostusyhtiö maksaa korvauksen jätekuljetusyhtiölle. Mallia ei ole kokeiltu käytännössä, mutta haasteeksi todennäköisesti tulee muovinjalostustehtaan raaka-aineen puhdistukseen liittyvät valmistuskustannukset ja laitteiden investointikustannukset. Tämän kokoluokan jalostuslaitokset tuote kilpailisi suoraan markkinoilla jo olemassa olevan kansallisen suuryrityksen ja kansainvälisten uusiomuovigranulaatin markkinoiden kanssa. Periaatteessa tässä toimintamallissa olisi mahdollista tehdä sekoitegranulaatteja (esim. 50 % puuta 50 % muovia), mutta matalan jalostusarvon bulkkituotteelle ei ehkä ole sellaisia markkinoita, joka ostaisi 600 t (300t puuta, 300t jätemuovia) edestä tällaista granulaattia. Karelia on kuitenkin suunnittelemassa/avustamassa tällaisen sekoitemateriaalitehtaan perustamista. Tulevaisuus näyttää, millaiselle tuotteelle löytyy kysyntää, kun huomioidaan uusiomateriaalista valmistettujen tuotteiden rajoitukset. Uutta jalostuslaitosta suunnitteleva yritys on kuitenkin toiveikas ja tehtaan investointisuunnitelmat etenevät.

### **Malli 3) Tila/kyläkohtainen kokoluokka**

Tässä kokoluokassa Karelian näkemyksen mukaan ei ole mahdollista valmistaa uusiomuovigranulaattia, jonka hinta/laatu suhde olisi kilpailukykyinen. Karelia on CIRCWASTE- hankkeessa tehnyt pienessä kokoluokassa (tuotanto noin 35 kg/h) pellettiä puu/muovi sekoituksessa, jonka tekeminen teknisesti kyllä onnistuisi maatilalla. Mallissa puhdistamaton/kuivaamaton muovi murskataan pienellä murskaimella (kuva 1) ja pelletöintivalmiiksi muovi saadaan esimerkiksi puukkomylyllä (kuva 3). Puu-muovisekoitus saadaan puristettua pelletiksi (kuva 5), jota periaatteessa voidaan käyttää uusiotuotteiden raaka-aineena. Suuri haaste tässä mallissa on sellaisten tuotteiden suunnitteleminen, jonka valmistukseen tällainen hyvin matalanjalostusasteen raaka-aine sopii. Karelia ei ole vielä kokeillut tehdä demotuotteita tästä raaka-aineesta, mutta suunnitelmia kokeiluun on olemassa. Kyseessä voisi olla esim. rakennusteollisuudessa käytettävät tuotteet, joiden on tarkoitus jäädä pysyvien rakenteiden sisään.

## **Maatalousmuovin uusiokäytön tilanne Pohjois-Karjalassa 5/2022**

Maatalouden PE-LLD jäteraaka-ainetta on olemassa ja sitä syntyy koko ajan, mutta raaka-aine ei päädy uusiokäytön piiriin. Jatkojalostuksen kannalta kuljetusyhtiöiden hakema raaka-aine on usein



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



lajittelematonta ja kontaminoitunut, joten Itä-Suomesta maatalouden jäte PE-LLD menee käytännössä polttoon (Lahti, Riihimäki, Varkaus, mahdollisesti jopa laivalla ulkomaille) (Karttunen 2022). Haasteena uusiokäytölle myös nähdään vaihtoehtoiset (ehkä laittomatkin) toimintatavat, joilla voidaan välttyä jätemaksun maksamisesta. Maatalousyrittäjien näkökulmasta jätemuovin asiallisen jatkokäyttöön toimittamista haittaa muiden maatalouden harjoittamiseen liittyvien kustannusten äkillinen ja arvaamaton hinnannousu (polttoaine, lannoitteet). Hinnan nousun syitä on moninaisia, mutta Venäjän hyökkäys Ukrainaan ja korona aiheuttamat markkinahäiriöt markkinatalouteen voidaan erikseen mainita.

Uusioraaka-aineiden kysyntään ja välillisesti myös kierrätykseen vaikuttavat merkittävästi neitseellisten raaka-aineiden markkinatilanne. Esimerkiksi kierrätysmuovien kilpailukyky suhteessa neitseellisiin muovijakeisiin on heikompi, koska neitseelliset materiaalit ovat edullisempia ja käytettävyydeltään usein parempia. Lisäksi kierrätysmuovien ongelmana on korkealaatuisten muovien heikko saatavuus.

Kierrätysmateriaalien kehittymättömät markkinat heikentävät merkittävästi jätehuoltoyritysten halukkuutta investoida kierrätystä tehostaviin prosesseihin. Erityisesti heikkolaatuisten kierrätysmateriaalien huono kysyntä ei kannusta tekemään investointeja kierrätyksen parantamiseksi, vaan jätteet pyritään käsittelemään taloudellisesti kannattavimmilla vaihtoehdoilla ja hyödyntämällä olemassa olevia, merkittäviä investointeja vaatineita jätteenpolttolaitoksia. Vaikka kierrätystä saataisiin lisättyä, olemassa olevat jätteenpolttolaitokset ovat kuitenkin merkittävässä roolissa jätteen käsittelylaitoksien kierrätykseen kelpaamattomien rejektien käsittelyssä

Pohjois-Karjalan alueen yksi merkittävä jätetoimija on Puhas Oy, joka ottaa vastaan jätettä. Maatalousmuovit katsotaan Puhaksella olevan poltettavaa jätettä ja jätteen tuonnista on maksettava poltettava jätteen tapauksessa maksettava 132,37 €/tonni + 10 € punnitusmaksu (hinnat 5/2022).

Yksi merkittävä toimija maatalouden jätemuovin jalostusketjussa on Itä-Suomen murskauskeskus (myöhemmin ITM), joka sijaitsee Joensuussa. ITM tekee yhteistyötä MTK:n kanssa. Maataloustuottaja voi halutessaan tehdä sopimuksen ITM:n kanssa haettavasta jätemuovierästä ja tästä palvelusta maataloustuottajan on maksettava tietty maksu. Itä-Suomen murskauskeskus hinnat palveluille 5/2022 olivat:

Kierrätettävä maatalousmuovi 100,00 euroa/tonni + arvonlisävero (MTK:n jäsenille 90,00 euroa/tonni + arvonlisävero)



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Ei kierrätettävä maatalousmuovi 135,00 euroa/tonni + arvonlisävero (MTK:n jäsenille\* 125,00 euroa/tonni + arvonlisävero).

**Kierrätettävä maatalousmuovi** saa sisältää vain puhdasta kirstekalvo muovia (valkoiset ja muun väriset päällyskiristeet, PE-LLD-muovilaatu) ja ei saa sisältää käytännössä mitään muuta muovia tai epäpuhtauksia.

**Ei kierrätettävä maatalousmuovi** saa sisältää valkoiset ja muun väriset päällyskiristeet (PE-LLD-muovilaatu), paalinaruja ja paaliverkkoa, Aumamuovit, suojahuput, tyhjennetyt lannoitesäkit; - Kanisterit (huuhdellut ja ilman korkkia); - Muovilaadut (PE-LLD, PE-LD, PE-HD), - Suursäkit. Tämäkään laatu ei saa sisältää epäpuhtauksia, vaarallisia aineita tai muita jätelajeja.

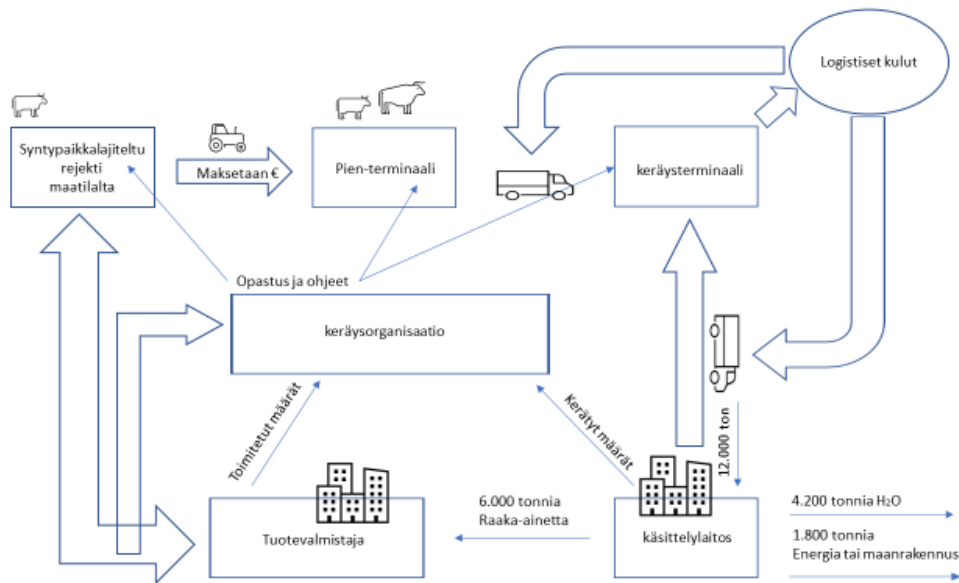
Mikäli aiotaan lisätä kierrätysmuovin käyttöä, on kierrätetyn muovin laadun oltava samalla tasolla neitseellisen muovin kanssa (VRT tämän raportin tuloksiin uusiomuovin laadusta). Toimiva syntypaikkalajittelu on ainoa keino saavuttaa riittävä laatutaso. Maataloudessa käytettävät muovit ovat polymeeriteknisesti laadukkaita, joilla on monia käyttökohteita, mutta keskenään sekoitettuna ne kelpaavat lähinnä energiatuotantoon. Tehokkaammin toimiva syntypaikkalajittelusysteemi vaatii motivoituneen maatalousyrittäjän sitoutumista ja sitoutumista voi olla vaikea synnyttää ilman taloudellisia muutoksia nykyiseen maatalouden jätemuovin keräyssysteemin rakenteeseen. Syntypaikkalajittelu on edelleen kierrätysprosessin tärkein vaihe.

On myös todettava, että maataloustuottajat eivät ole tyytyväisiä tällä hetkellä käytössä olevaan jätemuovin keräyssysteemiin. Uusia toimintamalleja on kehitteillä, mm. kuvan 10 kaltainen malli, jossa maatalousyrittäjän kannustimena olisi taloudellinen korvaus tehdystä työstä.

Koko maataloudesta peräisin olevan jätemuovimarkkinoihin voi tulla muutos, jos maatilan jätemuovit menevät tuottajavastuun piiriin, jolloin kierrättämisen maksut tulevat uusiomuovin hintaan ja kuljetus/hakeminen maatilalta tulee sinällään maksuttomaksi.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kuva 10: Maatalouden kiristinkalvojätemuovin keräämisen yksi uusi mahdollinen rakenne (mukaien Tuohisaari 2022). Paksut nuolet kuvaavat taloudellista korvausta, joka maksettaisiin hyödykkeestä tai tuotteesta. Jättemuovin kuljetuskustannukset rahoitettaisiin tässä mallissa jokaisen muovirullan myyntihintaa lisätällä maksulla, joka palautuisi osittain maataloustuottajille (pientermiiniin ylläpitäjät) ja kuljetusyriyksille.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



## Keräyskustannukset yleisesti.

Maatalouden PE-LLD jätemuovin keräyskustannukset yleisesti ovat luokkaa 110 €/t (Tuomisaari 2022.) Tarkemmin laskettuna maatalousmuovin raaka-aineen keräyskustannukset Pohjois-Karjalan alueella on arveltu olevan välillä 28- 66€/t riippuen keräykseen käytettävästä kalustosta ja keräysintervallista (Tepponen 2019). Tepposen laskelmissa ei ole mukana kaukokuljetuskustannus, jos jalostuslaitos sijaitsisi Pohjois-Karjalan maakunnan ulkopuolella.

Logistiikassa kuljetuskustannukset ovat merkittävässä roolissa ja niitä voidaan pyrkiä minimoimaan optimoimalla kuljetusreitit. Tepponen (2019) tutki erilaisilla reititysvaihtoehdoilla ja keräysintervallilla maatalouden PE-LLD jätemuovin kuljetuskustannuksia. Tulosten perusteella paalimuovin keräyksen kustannusestimaatti on kuljetuskustannusten perusteella noin 66 €/tn, kun muovit kerätään vuosittain täysperävaunurekoilla. Harventamalla keräysväliä kolmen vuoden välein toteutettaviin keräyksiin voidaan paalimuovin kustannusestimaattia laskea jopa 57,8 prosenttia ja myös kaluston kuormausastetta voidaan kasvattaa merkittävästi. Kuormausasteen perusteella keräyskaluston kapasiteetti pystytään kuitenkin hyödyntämään selkeästi tehokkaimmin, kun keräys toteutetaan vuosittain kuorma-autoilla, joiden kapasiteetti on vain kolmannes verrattuna täysperävaunurekkaan. Tutkimuksessa kehitetyt menetelmät todettiin toimiviksi ja tutkimuksessa luotu malli tarjoaa hyvän lähtökohdan paalimuovien keräyksen suunnittelulle. Tutkimuksessa kehitetyn mallin pohjalta voidaan jatkossa kehittää muita vastaavia malleja ja nyt saatuja tuloksia on mahdollista tarkentaa tarkempien lähtötietojen avulla. Tutkimuksessa muodostettua mallia on mahdollista jatkossa soveltaa maatalousmuovien keräyksen lisäksi laajemminkin maaseudun ja haja-asutusalueiden jätehuoltoa kehitettäessä. Tepposen (2019) mukaan Pohjois-Karjalassa muodostuu vuosittain paalimuovijätettä yhteensä noin 246,5 tonnia eli keskimäärin muovia muodostuu yhdellä tilalla noin 0,4 tonnia vuodessa.

Vuosittain maataloilta kerätään paalimuovia yhteensä noin 246,5 tonnia, ja kun otetaan huomioon ainoastaan keräyksestä muodostuvat kuljetuskustannukset, muodostuu paalimuovin keräyksen kustannusestimaatiksi 66,36 euroa tonnilta. Kuormauksen välin pidentäminen kolmeen vuoteen alensi kustannuksia niiden ollessa 28 €/t ja kuormauskaluston kokoa pienentämällä kustannukset olivat luokkaa 51,42 €/t. Tepposen laskelmissa jätemuovin kuljetuksen päättymispiste oli alueellinen jatkojalostuspaikka, joka Tepposen tutkimuksessa oli sijoitettu Joensuuhun. Tuohisaaren (2022) antaman hinta-arvio kuljetuskustannuksista perustui siihen, että maatalouden jätemuovin raaka-aine oli kuljetettu koko Suomen alueelta Merikarvialle ja tällöin kuljetuskustannusten keskimääräinen hinta-



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



arvio oli luokkaa 110€/t. Tästä kaukokuljetuksen osuus voisi olla noin 70€/t, joten nämä arviot ovat saman suuntaisia.

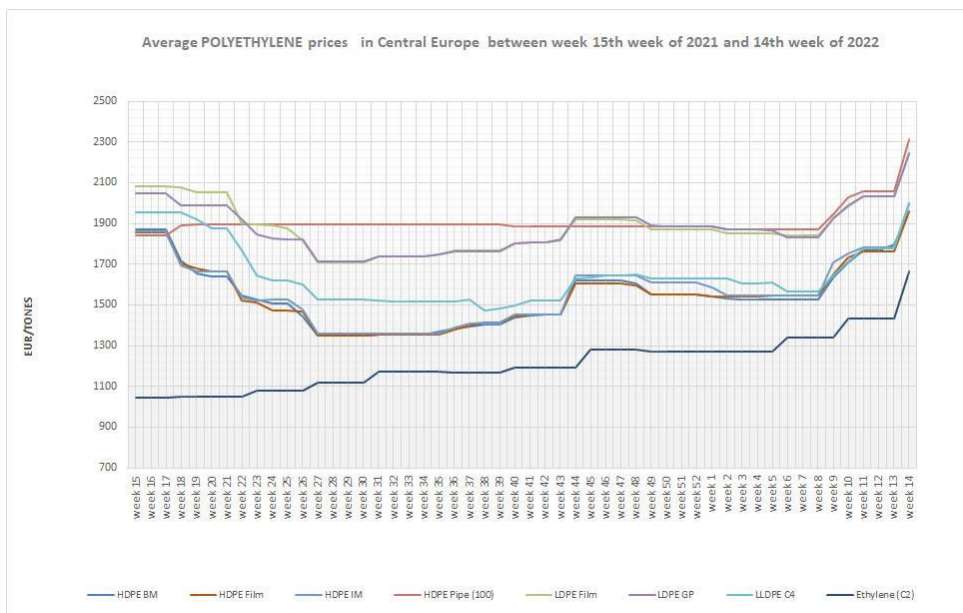
## Muovien kansainväliset markkinahinnat

Yleistä

Muovien markkinahinnat ovat olleet suurten mullistuksien äärellä. Maailman laajuinen pandemia sekä helmikuussa alkanut Ukrainan sota vaikuttavat suuresti muovien markkinahintoihin.

Ongelmat raaka-aineiden kuljetuksissa aiheuttavat paikoin muovipulaa ja nousseet polttoaineiden hinnat lisäävät logistisia kuljetuskustannuksia. Lisäksi maailmalla nopeasti nousseet raaka-aineiden, ja energian hinnat ovat nostaneet muoviteollisuuden kustannuksia valtavasti. Muuttuneiden kustannusten nousut tulevat nostamaan muovien hintaa vaihteittain. Tämän hetkinen muovien markkinahinta on hyvin epävakaa ja äkkinäisiä muutoksia voi tapahtua hyvinkin nopeasti.

Kaavio 5. Muovien hinnankehitys. Lähde: Plastics, the home of plastic. 2022.





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Neitseellisen muovin hinnat valtamuoveissa vaihtelevat, mutta ovat yli 2000 €/tonni hintaluokkaa lukuun ottamatta HDPE:n ja PVC:n laatuja.

Maatalousmuovina käytetyn LDPE ja LLDPE muovin hintataso maailmalla lähenee myös 2000 €/tonni luokkaa.

Table 1: Standard plastics prices according to EUWID over the past five months, listed in €/t.

Prices in €/t	March 2022	Feb. 2022	Jan. 2022	Dec. 2021	Nov. 2021
LDPE film grade	1950- 2100	1850- 2000	1900- 2050	1900- 2050	1900- 2050
LLDPE film grade	1900- 2050	1800- 1950	1850- 2000	1850- 2000	1850- 2000
HDPE injection moulding	1700- 1900	1550- 1750	1600- 1800	1700- 1900	1700- 1900
HDPE blow moulding	1650- 1850	1500- 1700	1550- 1750	1650- 1850	1650- 1850
PS crystal clear	2150- 2250	2050- 2150	2150- 2250	2020- 2120	2000- 2100
PS high impact	2200- 2300	2100- 2200	2200- 2300	2100- 2200	2100- 2200
PP homopolymer	2150- 2350	2050- 2250	2100- 2300	2100- 2300	2100- 2300
PP copolymer	2200- 2400	2100- 2300	2150- 2350	2150- 2350	2150- 2350
PVC tube grade	1800- 1900	1700- 1800	1680- 1780	1680- 1780	1680- 1780
PVC film/cables	1900- 2000	1800- 1900	1780- 1880	1780- 1880	1780- 1880
<b>Average Price</b>	<b>2035 ± 213</b>	<b>1925 ± 227</b>	<b>1971 ± 247</b>	<b>1968 ± 203</b>	<b>1966 ± 202</b>

Taulukko 3. Muovin hintatilastoja. Lähde: Plastics, the home of plastics. 2022

### Kierrätysmuovin markkinahinnat

Kierrätysmuovia voi ostaa erilaisissa muodoissa. Halvin vaihtoehto markkinoilla on ostaa muovi paalattuna, jolloin jatkokäsittely jää ostajan tai jatkojalostajan vastuulle.

Revittymuovi (regrind) on lajiteltu, revitty valmiiseen palakokoon ja pesty muovihutale tuote.

Uudelleen granuloitu muovi vastaa lähes neitseellisen muovin tasoa.

Kierrätysmuovin laatu ja ominaisuudet vaihtelevat käyttökohteen sekä kierrätystavan mukaan.

Esimerkkejä muovin ominaisuuksia muuttaville tekijöille voivat olla UV-valon pitkäaikainen altistuminen, muovin sulatuskerrat sekä muovin mukana tulleet ulkopuoliset lisäaineet. Tasalaatuisen ja turvallisen



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



kierrätysmuovin valmistaminen on siis haastavaa, jonka syystä kierrätysmuovin käyttö elintarvikekosketuksellisissa käyttökohteissa on kielletty.

Table 2: Standard plastics price according to plasticker; listed in €/t.

	April <sup>6</sup> 22	March 22	Feb. 22	Jan. 22	Dec. 21	March 21
HDPE regrind <sup>1</sup>	650	710	590	750	600	580
HDPE regranulates <sup>5</sup>	1070	1100	950	1050	920	880
LDPE bale goods <sup>2</sup>	260*	400*	120*	470*	350*	160*
LDPE regrind <sup>1</sup>	630*	650*	430*	480*	470*	490
LDPE regranulates <sup>5</sup>	890	1070	820	1020	850	640
PP bale goods <sup>3</sup>	1090*	380*	250*	-	310*	360*
PP regrind <sup>1</sup>	600	790	530	650*	630	530
PP regranulates <sup>5</sup>	1280	1490	970	1590	1400	850
PS regrind <sup>4</sup>	790*	880*	610	720*	700*	570
PS regranulates <sup>5</sup>	1260	1330	1040	1270	1160	920
PVC_P regrind <sup>1</sup>	660*	650*	660*	690*	490*	530*
PVC_U regrind <sup>1</sup>	0*	0*	500*	630*	480*	520*
PET bale goods	80*	200*	360*	0*	70*	80*
PET regrind mixed colours	360	390	350	720	480	380
<b>Average Price</b>	<b>(641)</b>	<b>717</b>	<b>584</b>	<b>717</b>	<b>636</b>	<b>535</b>

\*: Supply figure too low to attain statistical significance; <sup>1</sup>: equivalent to the grade "post-industrial mixed colours"; <sup>2</sup>: equivalent to K49; <sup>3</sup>: equivalent to K59; <sup>4</sup>: equivalent to "standard, mixed colours"; <sup>5</sup>: equivalent to the grade "regranulates, black"; <sup>6</sup>: preview (may be amended by additional quotes)

Taulukko 4. Kierrätysmuovin hintatilastoja. Lähde: Plasticker, the home of plastics. 2022

Maatalousmuovina käytetyn kierrätetyn LDPE muovin paalattu hinta on 260 €/tonni. Hinta muodostuu suurimmalta osalta muovin keräämisen, käsittelyn sekä kuljetuksen kustannuksista.

Muovin uudelleen käsittely (regrind) 630 €/tonni hinta sisältää muovijakeen prosessoinnin eli lajittelun, pesun sekä repimisen.

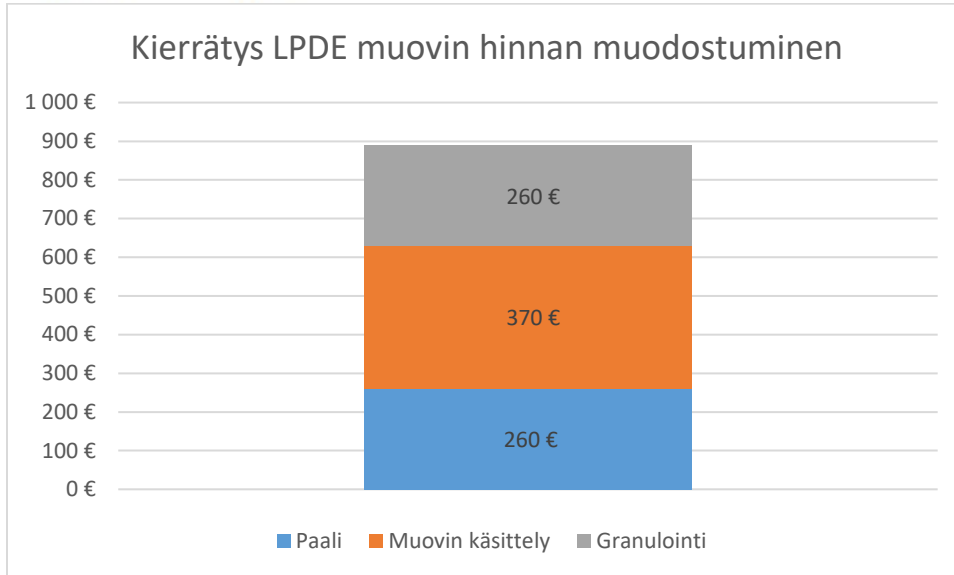
Uusiogranulaatin hinta 890 €/tonni sisältää muovin granulointiprosessin.

Kierrätysmuovin hinta on melkein puolet pienempi (45 %) verraten neitseellisen muovin nykyhintaan (Plasticker 2022).





LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Kaavio 6. Lopullisen kierrätys LPDE muovin arvon muutos prosessoitaessa.

Muovinkäsittelyn työvaiheelle tulee hintaa 370 €/tonni ja granulointi prosessi nostaa arvoa 260 €/tonni. (Plasticker 2022).

### Muovijätteen hinnan muutokset 2022

Maaliskuun muovien hintojen korotus vaikutti myös hyvälaatuisen muovijätteen kysynnän nousuun. Hyvälaatuisesta kierrätysmuovista maksetaan parempaa hintaa kuin minimivaatimuksen täyttävästä muovituotteesta. Muovin saatavuus ongelmat mm. Euroopassa ovat edesauttaneet hyvälaatuisen kierrätetyn muovin markkinoita, ja kysyntä on tällä hetkellä suurempaa kuin tuotanto. Valitettavasti kierrätysmuovin määrällä ei saada paikattua muovipulaa markkinoilla.

Muovijätteillä ei ole ollut näin suurta kysyntää aiemmin markkinoilla.

PET laadun muovista on suuri pula, ja kertakäyttöpullojen hinnat ovat nousseet laadusta riippuen 2040 €/tonni (Plasticker 2022).



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



Trioplast käärintäkalvon hinnat vaihtelevat 106 - 163 € rll riippuen mitä kokoa kalvo on ja rullan paino on yleensä 25-27 kg/rulla, josta seuraa hinnat (25 kg rulla) 4240 -6520 €/t. (Hankkija 2022)

## Johtopäätökset

Karelia-ammattikorkeakoulu on yksinkertaisilla kenttäkokeillaan osoittanut, että PE-LLD jätemuovia voidaan kerätä, esikäsitellä ja jalostaa granulaateiksi (ekstruuderi) tai pelleteiksi (pelletöintikone) jopa maatilakokoluokan tuotantovälineillä. Pienen kokoluokan jalostustoiminta teknisesti on hyvinkin mahdollista, jos muovia ja puuta sekoitetaan ja lopputuloksena onkin sekoite (hybridi, komposiitti?) raaka-aine, josta on mahdollista mm. ruiskuvalamalla tehdä erilaisia tuotteita.

Tämä tutkimus osoittaa taas kerran, että syntypaikkalajittelulla on ensiarvoisen tärkeä merkitys uusioraaka-aineen käytön kannalta. Maatalouden PE-LLD jätemuovi voidaan jalostaa jatkojalosteiden raaka-aineiksi, mutta uusiogranulaattien (pellettien) laatu täytyisi olla fossiilisten muovigranulaattien vertainen (Tuomisaari 2022). Karelian toteuttamissa tutkimuksissa selvisi, että yksinkertaistetuilla tuotantomenetelmillä voidaan tuottaa uusiomuovigranulaatteja, mutta granulaattien laatu ei yltänyt vaaditulle tasolle. Keskisuuren ja pienen kokoluokan uusiogranulaattien tuotanto on myös taloudellisesti erittäin haastavaa, ehkä jopa mahdotonta.

Suomessa toimiva suuri PE-LLD jätemuovia raaka-aineena käyttävä tehdas Clean Plastic Finland on investoimassa lähiaikoina toiseen tuotantolinjaan (Tuomisaari 2022) ja tämän toteutuessa Suomessa tuotettu PE-LLD jätemuovimäärä kokonaisuudessaan (teknisesti mahdollinen, mutta onko tahtotila olemassa) voidaan jalostaa uusiogranulaateiksi. Maatiloilta tuotetun PE-LLD jätemuovin saaminen paremmin uusiokäytön piiriin todennäköisesti vaatii muutoksia jätemateriaalin keräykseen liittyviin toimintamalleihin (kuva 10), ehkäpä jopa jäteregulaatioonkin.



LIFE15 IPE FI 004  
CIRCWASTE-FINLAND



## Lähteet

Hankkija 2022. <https://www.hankkija.fi/tuotantopanakset/maatalousmuovit/tr-kaarintakalvot-2121/>. Viittauspäivä 17.5.2022

Karttunen, Jukka. 2022. CEO Itä-Suomen murskauskampus. Suullinen haastattelu. 20.4.2022

Korhonen, Arto., Tulonen, Jukka ja Paukkunen, Simo. 2019. Karelia-ammattikorkeakoulu. CIRCWASTE-hanke. ”Kierrätetystä maatalousmuovista tehdyn raaka-aineen ominaisuudet.”. 2019

Plasticker, the home of plastic, muovin hintatasot.

Saatavissa:[https://plasticker.de/preise/preise\\_myceppi\\_en.php](https://plasticker.de/preise/preise_myceppi_en.php) .Viittauspäivä 17.5.2022.

Plasticker, the home of plastic muovin markkina raportti huhtikuu 2022. Verkkodokumentti. Saatavissa: [https://plasticker.de/preise/marktbericht2\\_en.php?id=227&typ=pdf](https://plasticker.de/preise/marktbericht2_en.php?id=227&typ=pdf) [Viittauspäivä 17.5.2022]

Tepponen, Joni. 2019. Maatalousmuovin keräyksen kuljetuskustannukset ja keräyksen kustannustehokkuuden parantaminen Pohjois-Karjalassa Itä-Suomen yliopisto. Pro gradu -tutkielma.

Tuomisaari, Mika. CEO Clean Plastic Finland. Haastattelu. 11.5.2022.