



# Muovikomposiittien kierrätys





Kuva: Exel Composites Oyj  
Kannen kuva: Ekin Muovi Oy



Kuva: Exel Composites Oyj

**K**omposiitit tarjoavat erinomaisia ominaisuuksia, kuten vahvuutta, keveyttä ja pitkää käyttöikää. Ne ovat mahdollistaneet täysin uudenlaisia tuotteita, jotka ovat merkittävästi parempia verrattuna perinteisistä materiaaleista, kuten teräksestä, alumiinista tai puusta valmistettuina.

Esimerkiksi liikenteessä ja kuljetuksissa komposiittirakenteet ovat johtaneet energiatehokkaampiin ja ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin niiden keveyden ja pitkän käyttöiän ansiosta. Komposiittien ominaisuudet ovat ratkaisevan tärkeitä ympäristöystävällisemmän tulevaisuuden kehittämisessä. Komposiittien avulla voidaan löytää tehokkaampia ratkaisuja uusiutuvan energian hyödyntämiseen ja fossiilisten raaka-aineiden käytön vähentämiseen.

Muovikomposiittimateriaalin rakenteen takia kierrättäminen on ollut haastavaa, kun materiaali on hyvin kestävä sekä mekaanisesti että kemiallisesti. Muovikomposiittien kierrätykselle on kuitenkin löydetty tehokas ja toimiva menetelmä. Muovikomposiitin käyttö kierrätyspolttoaineen raaka-aineena sementtitiunissa on teknisesti ja taloudellisesti toimiva kierrätysmenetelmä, jossa voidaan hyödyntää sekä komposiitin sisältämä materiaali että energia. Tämä komposiittien materiaalin ja energian hyödyntäminen on laajalti tunnustettua, ja sitä käytetään tällä hetkellä myös Saksassa.

## Komposiittijätteen poltolla sementtitiunissa voidaan hyödyntää sekä komposiitin materiaali että energia

### Mitä komposiitit ovat?

Komposiitti koostuu kahdesta tai useammasta toisiinsa sekoittumattomasta materiaalista, jotka ovat fyysisiltä ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaisia. Nämä materiaalit muodostavat toimivan kokonaisuuden, jonka ominaisuuksia ei yksittäisellä materiaalilla olisi mahdollista saavuttaa.

Lujitettu kertamuovi on yksi tärkeistä komposiittimateriaaleista. Lujitemuovi koostuu kahdesta osasta: sideaineesta eli muovista sekä lujitteesta. Lujite on usein lasi-, hiili- tai aramidikuitua. Lujitemuoveille tyypillisiä ominaisuuksia ovat keveys, hyvä vastustuskyky korroosiolle ja lämpövaihteluille, suuri lujuus suhteessa painoon, hyvä iskulujuus, eristävyys, antimagneettisuus, pitkäaikaiskestävyys, räätälöitävyys tiettyyn tarkoitukseen ja huoltovapaus.

### Muovikomposiittien käyttökohteita

- Ilmailu ja puolustus: lentokoneiden, helikoptereiden, avaruus-alusten ja satelliittien osat, luotillivit, kypärät ja muu suojavaustus
- Autot ja kuljetus: autojen, raitiovaunujen ja junien osat, matkailuautot ja -vaunut, mopoautot ja moottoripyörät
- Infrastruktuuri ja rakentaminen: rakennusten ja teiden korjaus, siltojen rakentaminen, talonrakennusmateriaalit, arkkitehtoniset erikoisrakennelmat, uima-altaat ja seinäpaneelit
- Korroosionkestävyys ja sähkö: säiliöt, pumput, tuulettimet, kemiallinen prosessointi, jätevesien käsittely, elektroniikkateollisuuden komponentit
- Vesikulkuneuvot: erilaiset laivat ja veneet
- Uusiutuva energia: tuulivoimaloiden konehuoneet ja siivet, aurinkopaneelien rakenteet
- Kuluttajatuotteet: urheilu ja vapaa-ajan tuotteet kuten golf- ja tennismailat, polkupyörät, sukset ja sauvat



Kuva: Muovityö Hiltunen Oy



Kuva: Muovityö Hiltunen Oy

## Miksi kierrättää?

Materiaalien käytön vähentäminen, kierrätys ja erilaiset hyödyntämistavat ovat yleistyneet yhteiskunnassamme, ja teknologian kehitys on mahdollistanut erilaisten materiaalien tehokkaamman käytön. Myös muovikomposiitit on mahdollista kierrättää.

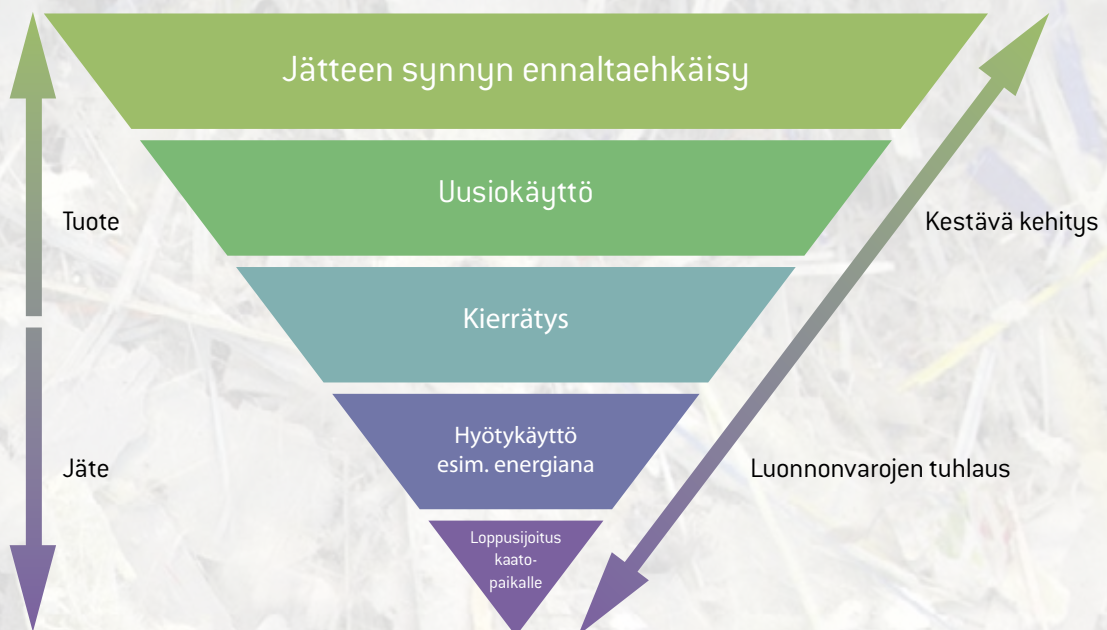
Kierrätys on yleisnimitys pitkälle prosessille, jossa käytetyt materiaalit kerätään, kuljetetaan, muokataan käyttöön sopiviksi ja sitten hyödynnetään erilaisin keinoin. Muovikomposiitit ovat haastavia kierrätettäviä, koska ne ovat useamman materiaalin yhdistelmiä. Niille löytyy kuitenkin tehokkaita hyödyntämiskeinoja.

## EU:n jätedirektiivi

Yksi EU:n jätepolitiikan keskeisistä tavoitteista on siirtyä kohti ekotehokasta kierrätys- ja hyötykäyttöyhteiskuntaa. Suomen jätelaki perustuu EU:n jätedirektiiviin, jonka pääasiallisena tavoitteena on ehkäistä jätteen syntymistä ja vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta.

Direktiivissä säädetään jätehierarkiasta, jolla tähdätään jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseen, jätteen kierrätyksen ja muun hyödyntämisen lisäämiseen sekä jätteen kaatopaikkakäsitteilyn vähentämiseen. EU:n jätehierarkian eri tasot on esitetty alla. Kierrätys- ja hyötykäyttötavoitteista on säädetty jätelain mukaisesti. Yksi tärkeä säädös on biohajoavan jätteen ja muun orgaanisen aineen kaatopaikkakielto, joka tuli voimaan 1.1.2016. Muovikomposiittien osalta säädös tarkoittaa, että kaatopaikkajoiutus ei ole sallittua vuoden 2016 alusta alkaen Suomessa.

## EU:n jätehierarkia



# Muovikomposiittien kierrätys sementtiuunissa

## Sementin valmistusprosessi

Sementin tuotantoprosessi alkaa kalkkikiven louhinnalla, jonka jälkeen se murskataan ja lajitellaan. Kalkkikivestä saatavan kalsiumkarbonaatin lisäksi valmistusprosessissa tarvitaan piidioksidi, rautaoksidia ja alumiinioksidia. Raaka-aineita saadaan myös muiden teollisuudenalojen sivutuotteista. Raaka-aineet yhdistetään oikeassa suhteessa ja syötetään raakajauhemyllyyn, jossa ne jauhetaan hienoksi.

Sementtiklinkkerin poltto alkaa jauheen esilämmityksellä ja esikalsinoinnilla, jonka jälkeen se syötetään uuniin. Sementtiuuni on noin 100 metriä pitkä kiertouuni. Palamisprosessin aikana kalkki, pii, alumiini ja rautaoksidit muuttuvat kalsiumyhdisteiksi ja sintrautuvat sementtiklinkkeriksi, kun lämpötila nousee 1 450 °C:een. Uunin loppuosassa sementtiklinkkeri jäädytetään nopeasti. Klinkkeri on koostumukseltaan tässä vaiheessa karkeaa soraa.

Varsinainen sementti valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, kipsiä ja muita tarvittavia seosaineita. Jauhettu tuote lajitellaan ja karkeat hiukkaset ohjataan takaisin jauhettaviksi. Hienoksi jauhettu valmis sementti siirretään varastosiiioihin, joista se kuljetetaan asiakkaille säiliöautossa tai pakattuna säkkeihin.

## Muovikomposiitin hyödyntäminen sementinvalmistuksessa

Sementtiuunissa muovikomposiitin sisältämä muovi ja palamis-kelpoiset kuidut palavat energiaksi, jota sementtiuuni tarvitsee kiviaineksen kuumentamiseksi. Lasikuitulujitetun muovikomposiitin lasikuitu sulaa ja sekoittuu muihin kiviaineisiin. Lasikuidun koostumus vastaa suureksi osaksi sementinvalmistuksessa käytettäviä raaka-aineita.

Kiertotaloustoimija kerää komposiittijätteen, murskaa sen määrättyyn palakokoon ja sementtitehdas vastaanottaa materiaalin. Kierrätysraaka-aineen laadun kannalta muovikomposiitin tarkka syntypaikkalajittelu on tärkeää, jotta kierrätystoimijan prosessiin ja sementtiuuniin ei päädy haitallisia aineita. Polttoaineen lämpöarvon kannalta on tärkeää, että se on kuivaa eli syntypaikkalajiteltu muovikomposiitti on säilytettävä säältä suojassa.

Prosessoituun lujitemuovijakeeseen lisätään muita kierrätysjakeita, jotta materiaalseoksen koostumus saadaan säädettyä tarkasti sementtitehtaan prosessiin sopivaksi. Sementtitehtaalla lujitemuovia sisältävällä raaka-aineella korvataan muita raaka-aineita sekä normaalisti prosessissa käytettäviä fossiilisia polttoaineita kuten petrokoksia.

Komposiittien hyödyntäminen sementtiuunissa on esimerkki tehokkaasta ja kestävästä jätehuollosta, joka tukee kiertotalouden periaatteita. Se mahdollistaa sekä materiaalin että energian tehokkaan hyödyntämisen.

## Lasikuitulujitemuovijätteen koostumus sopii ihanteellisesti sementin valmistukseen

## Miten muovikomposiitteja voidaan kierrättää tai käyttää hyödyksi?

### Poltto jätevoimalassa

Muovikomposiitin energiahyötykäyttö jätevoimalassa on mahdollista, mutta silloin lujitteet ja täyteaineet päätyvät tuhaksi. Tuhkan käsittelystä ja loppusijoittamisesta syntyy lisäkustannuksia. Tästä prosessista saadaan energiaa esimerkiksi kotitalouksien lämmittämiseen.

### Kierrätys sementtiuunissa

Sementtiuunissa prosessoitaessa suurin osa lujitemuovimateriaalista, noin kaksi kolmasosaa, hyödynnetään sementin raaka-aineena ja yksi kolmasosa jätteestä toimii polttoaineena. Menetelmä on kierrätystä, sillä se on suurimmaksi osaksi materiaalin uudelleenkäyttöä. Lujitemuovien polttaminen sementtiuunissa on todistettu toimivaksi menetelmäksi. Muista muovikomposiittien kierrätysmenetelmistä poiketen se on tehokas sekä teknisesti että taloudellisesti. Isona etuna on se, ettei prosessissa jää jäljelle tuhkaa.

### Muut tutkitut menetelmät

#### Mekaaninen kierrätys

Mekaanisessa kierrätyksessä muovikomposiitti murskataan ja jauhetaan hienojakoiseksi materiaaliksi, jota voi uusiokäyttää esim. täyteaineena. Menetelmä on yksinkertainen, mutta yleensä kaupalliset täyteaineet ovat murskattua lujitemuovia edullisem-

pia ja teknisesti parempia. Muovikomposiittien murskaaminen tarpeeksi hienoksi materiaaliksi vaatii erikoislaitteistoa.

#### Pyrolyysi

Pyrolyysissä muovikomposiittia hehkutetaan hapettomassa tilassa 700–1 000 °C lämpötilassa. Tämän seurauksena matriisimateriaali, lujite- ja täyteaineet saadaan eroteltua. Orgaaninen materiaali hajoo prosessissa nesteeksi ja kaasuksi, joita voidaan hyödyntää polttoaineena tai kemikaalilähteenä. Kuituja ja muita täyteaineita voidaan hyödyntää sellaisenaan. Menetelmää käytetään hiilikuitu-komposiitin kierrätykseen ja sitä voidaan soveltaa myös lasikuitulujitetun muovin kierrättämiseen.

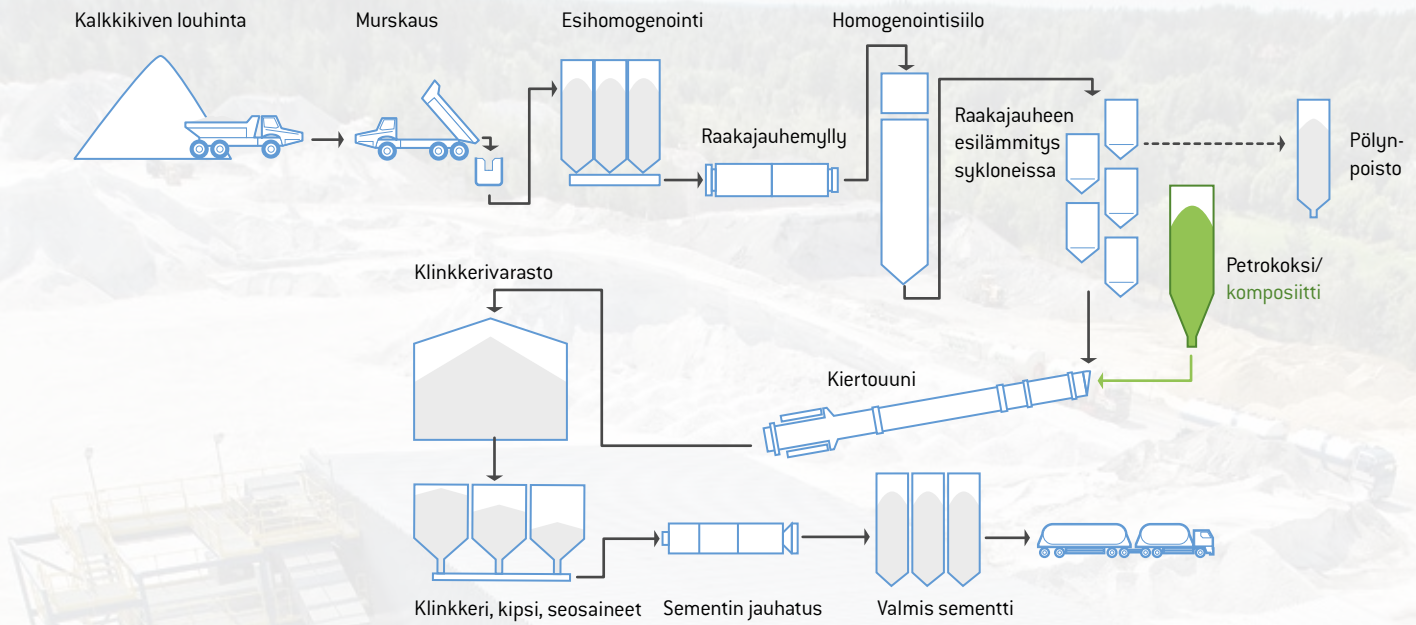
#### Leijupetipoltt

Muovikomposiitti poltetaan hiekkapedissä kuuman ilman avulla. Matriisimateriaali palaa lämmöksi, kuidut ja täyteaineet poistuvat palokaasujen mukana. Kuidut voi käyttää uudelleen, mutta niiden mekaaniset ominaisuudet heikkenevät käsittelyn seurauksena. Menetelmän etuna on, että prosessi sietää epäpuhtauksia ja sekalaisia muovikomposiitteja.

#### Solvolyysi

Solvolyysissä eli liuotuskierrätyksessä muovikomposiitin materiaalit erotellaan liuottamalla polymeerimatriisi. Solvolyysin avulla muovin sisältämät kemikaalit otetaan talteen.

## Sementin valmistus



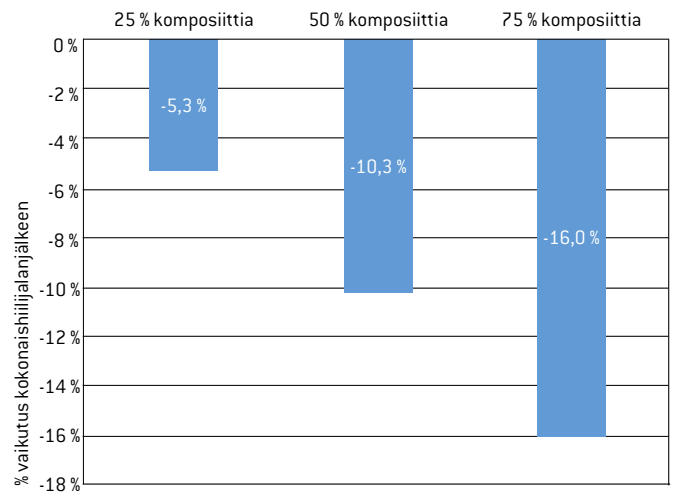
Taustalla polttoaineen syöttöyksikkö, johon komposiittijäte kerätään polttoa varten.

## Esimerkki klinkkerin ympäristövaikutuksista

Ympäristövaikutuksia voidaan mitata monilla eri mittareilla. Elinkaarianalyysi (LCA, life cycle assessment) on työkalu, jolla voidaan arvioida ympäristölle haitallisten vaikutusten merkitystä. Elinkaarianalyysillä selvitetään, millaiset muovikomposiitin kierrätyksen ympäristövaikutukset ovat sementtiuunipoltossa. Sveitsiläinen ETH-yliopisto on tutkinut sementtiklinkkerin ympäristövaikutuksia LCA-analyysillä.

Tutkimuksen mukaan klinkkerin hiilijalanjälkeä voidaan pienentää, lujitemuovin määrästä riippuen, jopa 16 %. Viereisestä kuvasta nähdään lasikuitukomposiitin määrän vaikutus klinkkerin hiilijalanjälkeen. Vertailuarvona on laskennassa käytetty normaalisti prosessissa käytettävää petrokoksia.

### Komposiittijätteen vaikutus sementin hiilijalanjälkeen eräällä sementtitehtaalla



Lähde: EuCIA Composite

### Klinkkerin hiilijalanjälkeä voidaan pienentää komposiittijätteen avulla jopa 16 prosenttia



Kuvissa vasemmalta: profiilijätteet, leikkuujätteet, murskaus ja valmis murske. Kuvat: MAMK

**Lujitemuovia voidaan kierrättää**

Lujitemuovin kierrätys sementtiuunissa on todistetusti parhaiten toimiva kierrätysjärjestelmä sekä teknisesti että taloudellisesti.

**Kertamuovien kierrättäminen takaisin alkuperäisiksi raaka-aineiksi ei ole helppoa**

Niiden kierrättäminen takaisin alkuperäisiksi raaka-aineiksi tai materiaaleiksi on haastavaa, mutta ei mahdotonta.

**Ympäristövaikutuksia ja hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää komposiittien avulla**

Komposiittirakenteilla päästään yleensä kevyempiin ratkaisuihin kuin perinteisillä materiaaleilla, kuten teräs tai alumiini. Alhaisesta painosta on etua mm. liikenteessä, jolloin polttoainekustannukset ja hiilidioksidipäästöt pienenevät. Myös pitkä käyttöikä pienentää kokonaishiilijalanjälkeä.

Käytön jälkeen muovikomposiitit voidaan kierrättää sementtiuuniprosessissa, jolloin niiden sisältämä energia ja materiaalit saadaan hyötykäyttöön. Samalla myös sementinvalmistuksen ympäristövaikutukset pienenevät.

**Sementtiuunissa prosessoiminen on parempi menetelmä kuin jätteenpolto**

Sementin valmistuksen rinnakkaisprosessoinnissa lujitemuovin sisältämä lasikuitu sulaa ja sekoittuu muihin sementin raaka-aineisiin vähentäen sementinvalmistuksessa tarvittavien neitseellisten raaka-aineiden määrää. Muovit ja palavat kuidut muuttuvat prosessissa energiaksi, jota uuni tarvitsee epäorgaanisen aineksen kuumentamiseen.

Jätevoimalassa lujitemuovin poltossa syntyy huomattava määrä tuhkaa, joka sisältää epäorgaanista materiaalia, jolloin sen hyödyntäminen on vaikeaa ja käsittelystä syntyy kustannuksia. Sementtiuunin polttolämpötila on huomattavasti korkeampi kuin jätevoimalan polttolämpötila, jolloin sementtiuunissa saadaan hyödynnettyä lasikuitulujitemuovin koko energiamäärä.

**Komposiittijätteen kierrättäminen sementtiuunissa on hyväksytty kierrätysmenetelmä EU:ssa**

Muovikomposiittien kierrättäminen sementtiuunissa on täysin yhteensopiva jätedirektiivin 2008/98/EC kanssa. Koska menetelmä on suurimmaksi osaksi materiaalin uudelleenkiertäminen energiahyödyntämisen sijaan, menetelmä on kierrätystä.



# Muovikomposiittijätteen kierrätys toimii Suomessa:

## KiMuRa -reitti valmiina

Muoviteollisuus ry:n Komposiittijaoston hankkeessa luotu komposiittien kierrätysreitti KiMuRa mahdollistaa toimivan muovikomposiittijätteen keräyksen ja hyötykäytön Suomessa (Kierrätetty Murskattu Raaka-aine, KiMuRa) <https://www.plastics.fi/kimura>. Hankkeelle saatiin tukea ympäristöministeriöltä liittyen Muovitie-karttaan, jonka päämääriä hanke toteuttaa usealla tavalla.

Hankkeessa oli mukana seitsemän (7) komposiittituotteita valmistavaa yritystä eri puolilta Suomea: Ekin Muovi Oy, Exel Composites Oyj, Fenix Marin Oy, Muovilami Oy, Muovityö Hiltunen Oy, NCE Oy, Patria Aerostructures Oy.

Kuusakoski Oy on KiMuRa:n kiertotaloustoimija ja Finnsementti Oy komposiittimurskan hyötykäyttäjää. Muoviteollisuus ry, Finnboat ry, Suomen tuulivoima ry ja Kierrätysteollisuus ry olivat mukana asiantuntijajhteisinä ja tiedonvälityskanavina.

Nyt Suomessa on maan kattava keräysverkosto komposiittijätteelle. Kaikki Kuusakosken 19 jätepiستettä ottavat vastaan komposiittijätettä. Näiltä jättepiستeiltä jäte viiedään murskattavaksi Hyvinkäälle. Noin 25 komposiittituotteita valmistavaa yritystä

toimittaa jo jätteensä KiMuRa-reittiä kierrätykseen ja tämän lisäksi on reitille saatu pienveneitä, tuulivoimaloiden lapoja ja käytettyjä prosessiputkistoja.

Tällä hetkellä muovikomposiittijätteelle ainoa taloudellinen, teknisesti valmis ja teollisesti toteutettava kierrätystapa on sen hyödyntäminen sementin valmistuksessa. Kerätty komposiittijäte voidaan käyttää 100 prosenttisesti sementtiklinkkerin valmistuksessa. Tulevaisuudessa toimivan kiertotalouslogistiikan kautta kerättävää jätettä voidaan hyödyntää muissakin komposiittikierrätys-prosesseissa, kunhan ne kehittyvät teollisen toiminnan tasolle.

Hankkeessa kertyvän tiedon pohjalta voidaan luoda pohjaa kuluttajilta tulevan muovikomposiittijätteen (esim. veneet) keräyslogistiikalle. On myös tärkeää, että hankkeen tulokset luovat perustaa lähitulevaisuudessa kasvavalle tuulivoimaloiden lapojen kierrätystarpeelle, joka on edessä tuulivoimaloiden tullessa käytöikänsä päähän.

## Komposiittien kiertotalousmalli

