

Katja Putkonen

BIOPOHJAISET MUOTIN IRROTUSAINEET

Kirjallisuusselvitys

Globio – Globaaleja biotalouden ratkaisuja paikallisista
innovaatioverkostoista

1.1.2026-30.6.2027

Hanke on Euroopan unionin osarahoittama Etelä-Savon
maakuntaliiton kautta



**Euroopan unionin
osarahoittama**



TIIVISTELMÄ

Tässä kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan Globio – Globaaleja biotalouden ratkaisuja paikallisista innovaatioverkostoista -hankkeessa tutkittavia biopohjaisia materiaalivaihtoehtoja muottien irrotusaineiksi. Rahoituksen hankkeelle on myöntänyt Etelä-Savon maakuntaliitto. Erityisenä tarkastelun kohteena ovat selluloosajohdannaiset, luonnonvahat, kasviöljyt sekä biopolymeerit, joiden ominaisuuksia arvioidaan niiden soveltuvuuden näkökulmasta erilaisiin muovausprosesseihin.

Työ koostuu kahdesta työpaketista. Ensimmäisessä toteutetaan kirjallisuusselvitys biopohjaisista muotinirrotusaineista ja niiden ominaisuuksista. Toisessa työpaketissa arvioidaan valittujen irrotusaineiden toimivuutta käytännön muottikokeiden avulla sekä tarkastellaan niiden kestävyyttä käyttöolosuhteissa.

Kirjallisuusselvityksen tavoitteena on tunnistaa lupaavimmat biopohjaiset raaka-aineet, jotka voivat tarjota tehokkaan, kestävän ja ympäristöystävällisen vaihtoehdon perinteisille irrotusaineille. Valittujen materiaalien pohjalta valmistetaan pinnoiteaineita, joiden toimivuutta arvioidaan käytännön sovelluksissa. Työssä vertaillaan erilaisia levitysmenetelmiä sekä tutkitaan pinnoitteiden kestävyyttä, irrotusominaisuuksia ja yhteensopivuutta eri muovausmateriaalien, kuten betonivalujen, kanssa. Käytännön muovaustesteissä hyödynnetään 3D-tulostettuja muotteja.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa kokonaisvaltainen arvio biopohjaisten irrotusaineiden potentiaalista sekä luoda perustaa niiden jatkokehitykselle teollisiin käyttökohteisiin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Etelä-Savon
maakuntaliitto**



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

ABSTRACT

This literature review examines the bio-based material alternatives for mold release agents studied in the Globio project. The funding for the project has been granted by South Savo Regional Council. The focus is on cellulose derivatives, natural waxes, vegetable oils, and biopolymers, whose properties are evaluated in relation to their suitability for different molding processes.

The study consists of two work packages. The first work package is a literature review of bio-based mold release agents and their properties. The second work package evaluates the performance of selected release agents through practical molding trials and examines their durability under real use conditions.

The aim of this literature review is to identify, based on literature, the most promising bio-based raw materials that can provide an efficient, durable, and environmentally friendly alternative to conventional release agents. Based on the selected materials, coating formulations will be prepared, and their performance will be evaluated in practical applications. The study compares different application methods and examines the durability, release properties, and compatibility of the coatings with different molding materials, such as concrete. Practical molding tests will be conducted using 3D-printed molds.

The aim of the study is to provide a comprehensive assessment of the potential of bio-based release agents and to create a basis for their further development for industrial applications.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Etelä-Savon
maakuntaliitto**



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MUOTIN IRROTUSAINHEET – PERUSPERIAATTEET JA LUOKITTELU.....	7
2.1	Irrotusaineiden toimintamekanismit	7
2.1.1	Sacrificial Release Agents	8
2.1.2	Semi-permanent Release Agents	8
2.1.3	Internal Mold Release Agents.....	8
3	BIOPOHJAISET IRROTUSAINHEET.....	9
3.1	Kasviöljyt	10
3.2	Bioesteripohjaiset	12
4	BIOPOHJAISET PINNOITE- JA KALVONMUODOSTUSMATERIAALIT IRROTUSRATKAISUISSA.....	13
4.1	Luonnonvahat.....	13
4.1.1	Karnaubavaha	14
4.1.2	Mehiläisvaha.....	14
4.1.3	Sojavaha	15
4.1.4	Riisivaha	15
4.1.5	Montaanivaha	16
4.1.6	Parafiinivaha	17
4.1.7	Muut kasvipohjaiset vahat.....	18
4.2	Selluloosapohjaiset biopolymeerit.....	18
4.2.1	Karboksimetyyliselluloosa CMC.....	19
4.2.2	Metyyliselluloosa MC	19
4.2.3	Hydroksietyyliselluloosa HEC	20
4.2.4	Hydroksiipropyylimetyyliselluloosa HPMC	21



5	TÄRKKELYSPOHJAISET BIOPOLYMEERIT SEKÄ PLA- JA PHA-MATERIAALIT BIOHAJOAVINA JA UUSIUTUVINA MATERIAALIRATKAISUINA.....	22
5.1	Termoplastinen tärkkelys (TPS).....	22
5.2	Tärkkelyspohjaiset biopolymeerit ja polylaktidia (PLA)	23
5.3	Polylaktidikuitu PLA	24
5.4	Polyhydroksialkanoaatti PHA.....	25
6	BIOPOHJAISTEN MUOTINIRROTUSAINIEN VERTAILU	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
	LÄHTEET.....	33

LIITTEET

Liite 1. Kuvaluettelo ja Taulukkoluetelo

Liite 2. Biopohjaiset muotinirrotusaineet verrattuna perinteisiin fossiilipohjaisiin irrotusaineisiin

Tekoäly

Tässä kirjallisuusraportissa on käytetty tekoälyohjelmia ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5) ja Microsoft Copilot. Ohjelmia on käytetty aiheeseen liittyvien käsitteiden hahmottamiseen, tiedonhaun ja rakenteen suunnittelun ja ideoinnin tukena, tekstin kieliasun tarkistamisen tukena ja kuva 1 luonnin apuna. Tekoälyä ei ole käytetty tiedonlähteenä vaan kaikki raportin sisältö perustuu erikseen tarkistettuihin lähteisiin. Tekoälyn tuottama sisältö on tarkistettu ja muokattu kirjoittajan toimesta.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Etelä-Savon
maakuntaliitto**



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

1 JOHDANTO

Valmistuksessa jokainen yksityiskohta on tärkeä, erityisesti kun kyse on muotiosien irrottamisesta vahingoittamatta tai viivästyttä. Muotin irrotusaineet ovat keskeinen osa monia teollisia muovaus- ja valuprosesseja, joissa niiden tehtävänä on estää materiaalin tarttuminen muotin pintaan sekä mahdollistaa valmiin kappaleen hallittu irrottaminen ilman vaurioita. Lisäksi ne parantavat tuotantoprosessin tehokkuutta, vähentävät materiaalihävikkiä ja vaikuttavat merkittävästi lopputuotteen pintalaatuun. (LXbio 2024).

Biopohjaiset muottien irrotusaineet (bio-based mold release agents) ovat teollisuudessa kasvava alue, koska niillä pyritään korvaamaan mineraaliöljy-, sili-koni- ja PFAS-pohjaisia tuotteita (per- ja polyfluorialkyyliyhdisteet) ympäristöystävällisemmillä vaihtoehdoilla. Muotin irrotusaineiden tyypit, joita käytetään muovausprosessissa, voivat merkittävästi vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen, osien laatuun ja jopa työkalujen käyttöikään. Eri tyypeillä on ainutlaatuisia etuja. Toiset painottavat helppoa levitystä ja useita irrotuksia, kun taas toiset keskittyvät pintalaatuun tai yhteensopivuuteen jälkimuovauskäsittelyn kanssa.

Viime vuosina kiinnostus biopohjaisiin muotin irrotusaineisiin on kasvanut merkittävästi, sillä ne tarjoavat vaihtoehdon perinteisille tuotteille myös kestävän kehityksen näkökulmasta. Biopohjaiset irrotusaineet valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista, kuten kasviöljyistä, rasvahapoista tai muista biomateriaaleista, ja ne voivat olla biohajoavia sekä ympäristölle vähemmän haitallisia.



2 MUOTIN IRROTUSAINEET – PERUSPERIAATTEET JA LUOKITTELU

Muotinirrotusaineet ovat keskeinen osa monia valmistusprosesseja, sillä niiden avulla voidaan varmistaa kappaleen hallittu irtoaminen muotista ilman vaurioita tai pinnanlaadun heikkenemistä. Irrotusaineiden käyttö vaikuttaa merkittävästi tuotannon tehokkuuteen, muottien käyttöikään sekä lopputuotteen laatuun. Erilaiset valmistusmenetelmät ja materiaalit asettavat omat vaatimuksensa käytettäville irrotusaineille, minkä vuoksi markkinoilla on useita erilaisia ratkaisuja. Teknisten ominaisuuksien lisäksi irrotusaineiden valinnassa on huomioitava niiden vaikutukset työntekijöiden terveyteen ja työturvallisuuteen. Erityisesti liuotinpohjaiset tuotteet voivat sisältää haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), joiden pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa hengitystieoireita, ihoärsytystä sekä muita terveyshaittoja. Näistä syistä teollisuudessa on viime vuosina pyritty kehittämään turvallisempia ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja perinteisille irrotusaineille. Tässä luvussa tarkastellaan muotinirrotusaineiden toimintaperiaatteita sekä niiden keskeisiä luokittelutapoja käyttökohteiden ja toimintamekanismien perusteella.

2.1 Irrotusaineiden toimintamekanismit

Perinteisesti muotinirrotusaineet ovat perustuneet fossiilipohjaisiin kemikaaleihin, kuten liuotin-, silikoni- ja mineraaliöljypohjaisiin yhdisteisiin. Näitä aineita on käytetty laajasti niiden hyvän voitelukykyyn, lämmönkestävyyden ja tehokkaiden irrotusominaisuuksien vuoksi. Erityisesti silikonipohjaiset irrotusaineet ovat yleisiä muovi-, komposiitti- ja betonteollisuudessa, koska ne muodostavat muotin pinnalle kestävä ja vettähylykivän kalvon, joka helpottaa kappaleen irrottamista muotista. (Wypych 2021).

Liuotinpohjaiset irrotusaineet sisältävät usein haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), jotka voivat aiheuttaa ympäristö- ja terveyshaittoja. Lisäksi mineraaliöljypohjaisten tuotteiden käyttöön liittyy fossiilisten raaka-aineiden kulutus sekä ongelmia aineiden biohajoavuudessa. Pitkäaikaisessa käytössä perinteiset irrotusaineet voivat myös jättää jäämiä muotin pinnalle, mikä lisää puhdistustarvetta ja voi heikentää lopputuotteen pinnanlaatua. (Singh & Verma 2019).



2.1.1 Sacrificial Release Agents

Sacrificial Release Agents tai niin kutsutut kertakäyttöiset irrotusaineet muodostavat esteen muotin pinnan ja muovattavan kappaleen väliin, minkä vuoksi niitä on levitettävä uudelleen ennen jokaista valmistussykliä. Näitä irrotusaineita käytetään erityisesti sovelluksissa, joissa kalvon muodostuminen ja kappaleen helppo irtoaminen ovat tärkeämpiä kuin valmistussyklin tehokkuus. Vaikka niiden käyttö lisää tuotannon seisokkiaikaa toistuvan uudelleenlevityksen vuoksi, ne ovat usein välttämättömiä monimutkaisissa geometrioissa tai muoteissa, joissa vaaditaan erittäin korkealaatuinen ja kiiltävä pintaviimeistely. Sacrificial release agents irrotusaineita on saatavilla sekä liuotin- että vesipohjaisina vaihtoehtoina, joilla on omat etunsa ja rajoituksensa. Liuotinpohjaiset irrotusaineet tarjoavat nopean haihtumisen ja erinomaisen pinnanlaadun, kun taas vesipohjaiset vaihtoehdot ovat ympäristöystävällisempiä ja tuottavat vähemmän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-päästöjä). (Cargill s.a.; Chem-Trend s.a.)

2.1.2 Semi-permanent Release Agents

Semi-permanent release agents eli puolipysyvät irrotusaineet mahdollistavat useita irrotuskertoja yhdellä levityksellä, mikä vähentää merkittävästi tuotannon keskeytyksiä. Nämä aineet muodostavat kemiallisen sidoksen muotin pintaan ja synnyttävät kestävä, ohuen pinnoitteen, joka kestää useita muovaussyklejä. Tämän seurauksena ne lyhentävät tuotantocyklien kestoa ja parantavat kokonaistehokkuutta. Korkean kestävyytensä ja tasaisen suorituskykynsä ansiosta puolipysyviä irrotusaineita käytetään laajasti suurten tuotantomäärien teollisissa sovelluksissa, kuten autoteollisuuden komposiittien valmistuksessa, ilmailuteollisuuden komponenteissa, kumimuovauksessa sekä rotaatiovalussa. (Cargill s.a.; Chem-Trend s.a.)

2.1.3 Internal Mold Release Agents

Toisin kuin perinteiset irrotuspinnoitteet, Internal Mold Release Agents eli sisäiset muotinirrotusaineet lisätään suoraan muovattavaan materiaaliin. Tällöin irrotusominaisuus jakautuu tasaisesti koko kappaleeseen, eikä ainetta tarvitse



levittää erikseen muotin pinnalle. Näitä aineita käytetään erityisesti termoplasteissa, polyuretaanissa ja kertamuoveissa, joissa pinnan ulkonäön säilyminen on tärkeää. Sisäisten muotiniirrotusaineiden on kuitenkin oltava yhteensopivia perushartsin kanssa, ja ne voivat joskus häiritä muovauksen jälkeisiä käsitteilyjä, kuten maalausta, pinnoitusta tai liimausta. (Cargill s.a.; Chem-Trend s.a.).

3 BIOPOHJAISET IRROTUSAINEEET

Biopohjaiset muotiniirrotusaineet ovat aineita, jotka valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista (esim. kasviöljyt, rasvahapot, esterit tai biopolymeerit) ja joiden tehtävänä on estää muovattavan materiaalin tarttuminen muottiin. Ne muodostavat muotin ja muovattavan materiaalin väliin ohuen kalvon, joka mahdollistaa kappaleen irrottamisen ilman vaurioita ja parantaa pinnan laatua. (Kao 2024; ScienceDirect s.a.).

Käytännössä bioesteripohjaisia irrotusaineita hyödynnetään erityisesti kumi-, polyuretaani- ja komposiittiteollisuudessa sekä metallimuottien prosesseissa. Polyuretaanien valmistuksessa ne ovat tärkeitä, koska materiaalin tarttuminen muottiin voi aiheuttaa pintavikoja ja vaikeuttaa tuotteen irrotusta. Bioesterit kestävät hyvin prosessissa esiintyviä lämpötiloja ja tarjoavat riittävän kemiallisen yhteensopivuuden erilaisten polymeerien kanssa. (Oprea 2016). Komposiittimateriaaleissa ne puolestaan tukevat korkeaa pinnanlaatua ja vähentävät jälkikäsittelyn tarvetta. Alla olevassa kuvassa 1 esitetään perinteiset ja biopohjaiset irrotusaineet, mukaan lukien kasviöljy-, bioesteri-, luonnonvaha-, selluloosa- ja tärkkelyspohjaiset vaihtoehdot sekä niiden keskeiset edut ja haasteet. Kuvan suurennos on esitetty liitteessä 1.





Kuva 1. Biopohjaisten muotinirrotusaineiden pääryhmät, ominaisuudet ja käyttökohteet verrattuna perinteisiin fossiilipohjaisiin irrotusaineisiin. (Kuva luotu tekoälyohjelmalla ChatGPT/DALL·E 2026.)

Ympäristön kannalta bioesteripohjaiset irrotusaineet ovat merkittäviä, koska ne sisältävät usein vain vähän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja voivat olla biohajoavia. Tämä vähentää sekä työntekijöiden altistumista että ympäristökuormitusta. Lisäksi nykyaikaiset tuotteet ovat usein silikonittomia ja fluorittomia, mikä tukee siirtymää kohti kestävämpiä kemiallisia ratkaisuja teollisuudessa. (Biermann ym. 2017).

3.1 Kasviöljyt

Kasviöljypohjaiset irrotusaineet perustuvat kasviöljyjen sisältämiin rasvahappoihin, jotka muodostavat muotin ja valmistettavan kappaleen väliin ohuen voitellevan kalvon. Tämä kalvo vähentää muotin ja kappaleen välistä adheesiota, helpottaa kappaleen irrottamista sekä vähentää muottien kulumista. Samalla voidaan parantaa lopputuotteen pinnanlaatua ja vähentää puhdistuksen sekä jälkikasittelyn tarvetta. Bio- ja kasvipohjaisia irrotusaineita käytetään erityisesti

betonimuottien, polyuretaanien ja komposiittien valmistuksessa, joissa vaaditaan tehokasta irrotettavuutta ja hyvää pinnanlaatua. (Functional Products 2026; Sunbelt Lubricants 2026).

Kasvipohjaisten irrotusaineiden etuna pidetään myös niiden ympäristö- ja työturvallisuusominaisuuksia. Monet tuotteet ovat liuotteettomia, vähäpäästöisiä ja sisältävät vähän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), mikä vähentää haitallisia päästöjä ja työntekijöiden altistumista kemikaalihöyryille. Lisäksi useat tuotteet ovat biohajoavia, jolloin niiden ympäristökuormitus jää pienemmäksi verrattuna perinteisiin mineraaliöljypohjaisiin irrotusaineisiin. Esimerkiksi BioForm™ M3 -irrotusaineen on ilmoitettu olevan helposti biohajoava OECD TG301B -testin perusteella, ja sen käyttö voi vähentää VOC-päästöjä sekä öljyperäisten hiilivetyjen päätymistä ympäristöön. (Sunbelt Lubricants 2026).

Ympäristö- ja turvallisuusvaatimusten kiristyessä VOC-pitoisuuteen kiinnitetään yhä enemmän huomiota myös teollisissa muottiprosesseissa. Matala VOC-pitoisuus vähentää ilmanlaatuun kohdistuvia haittoja ja tukee siirtymää kohti uusiutuvia sekä vähäpäästöisiä materiaaliratkaisuja. Lisäksi monet nykyaikaiset biopohjaiset irrotusaineet ovat silikonittomia ja liuotteettomia, mikä vähentää jäämien muodostumista muottipinnoille ja helpottaa puhdistusta. (Functional Products 2026).

Kasvipohjaisten irrotusaineiden haasteena voivat kuitenkin olla heikompi hapettumiskestävyys ja rajallisempi lämpötilankesto verrattuna synteettisiin estereihin tai mineraaliöljypohjaisiin tuotteisiin. Tämän vuoksi niitä modifioidaan usein estereillä, lisäaineilla ja stabilointiaineilla, joilla voidaan parantaa voitelukykyä, lämpöstabiilisuutta ja pitkäaikaista käyttöikää teollisissa prosesseissa. (Bart ym. 2013).

Teollisuudessa käytetään esimerkiksi betonimuottien irrotusaineina biopohjaisia ja liuotteettomia tuotteita, kuten Functional CMR-1001 sekä BioForm™ M3. Functional CMR-1001 on biopohjainen, liuotteeton ja silikoniton betonimuottien



irrotusaine, joka muodostaa muotin pinnalle suojaavan kalvon ja parantaa betonipinnan laatua. BioForm™ M3 puolestaan perustuu uusiutuviin kasvipohjaisiin raaka-aineisiin, tarjoaa matalan VOC-pitoisuuden sekä hyvän biohajoavuuden betonimuottisovelluksissa. (Functional Products 2026; Sunbelt Lubricants 2026).

3.2 Bioesteripohjaiset

Bioesteripohjaiset muottien irrotusaineet ovat uusiutuvista raaka-aineista, erityisesti kasviöljyjen rasvahapoista, valmistettuja synteettisiä estereitä. Ne yhdistävät hyvän voitelukyvyn, korkean lämpötilankeston ja biohajoavuuden, minkä vuoksi niitä pidetään ympäristöystävällisempänä vaihtoehtona perinteisille mineraaliöljypohjaisille irrotusaineille. (Bart ym. 2013).

Bioesteripohjaisten irrotusaineiden toiminta perustuu siihen, että ne muodostavat muotin pinnalle ohuen ja kestäväen voitelukalvon. Tämä kalvo vähentää muotin ja kappaleen välistä adheesiota, helpottaa kappaleen irrottamista sekä vähentää muotin mekaanista kulumista. Samalla se parantaa lopputuotteen pinnanlaatua ja vähentää jälkikäsitteilyn tarvetta erityisesti sarjatuotannossa ja toistuvissa tuotantokykissä. (Sharma & Singh 2018).

Bioesterien tekniset ominaisuudet tekevät niistä soveltuvia vaativiin teollisiin muottiprosesseihin. Niillä on hyvä lämpötilankesto ja stabiili toiminta myös korkeissa prosessilämpötiloissa, minkä lisäksi ne ovat kemiallisesti yhteensopivia useiden polymeerien kanssa. Tämän vuoksi niitä käytetään erityisesti kumi-, polyuretaani- ja komposiittiteollisuudessa sekä metallimuottien prosesseissa. Polyuretaanituotteiden valmistuksessa bioesterit ovat tärkeitä, koska ne ehkäisevät materiaalin tarttumista muottiin ja vähentävät pintavirheiden syntymistä. Komposiittimateriaaleissa ne puolestaan tukevat korkeaa pinnanlaatua ja helpottavat valmiiden kappaleiden irrotusta muoteista. (Oprea 2016).

Ympäristönäkökulmasta bioesteripohjaiset irrotusaineet ovat merkittäviä, sillä ne sisältävät usein vähän haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja voivat olla osittain tai täysin biohajoavia. Tämä vähentää sekä työntekijöiden altistumista



haitallisille kemikaaleille että ympäristökuormitusta. Lisäksi monet nykyaikaiset bioesteripohjaiset tuotteet ovat silikonittomia ja fluorittomia, mikä tukee kestävä kehityksen mukaisia ratkaisuja teollisuuskemikaalien käytössä. (Biermann ym. 2017).

4 BIOPOHJAISET PINNOITE- JA KALVONMUODOSTUSMATERIAALIT IRROTUSRATKAISUISSA

Biopohjaiset pinnoite- ja kalvonmuodostusmateriaalit ovat nousseet kiinnostaviksi vaihtoehtoiksi perinteisille fossiilipohjaisille muotinirrotusaineille ja niiden käyttöä ohjaavat ympäristö- ja terveysvaikutusten lisäksi myös taloudelliset tekijät. Vaikka uusiutuvat materiaalit voivat joissain tapauksissa olla hankintahinnaltaan kalliimpia, ne voivat pienentää kokonaiskustannuksia vähentämällä puhdistustarvetta, parantamalla prosessitehokkuutta ja pidentämällä muottien käyttöikä. Biopohjaiset ratkaisut muodostavat muotin pinnalle suojaavan kalvon, joka vähentää kitkaa ja materiaalin tarttumista. Tässä luvussa tarkastellaan luonnonvahoihin ja selluloosapohjaisiin biopolymeereihin perustuvia irrotusratkaisuja.

4.1 Luonnonvahat

Luonnonvahoja käytetään muottien irrotusaineina niiden hyvän voitelukyvyyn, vettähylykivyyden ja biohajoavuuden vuoksi. Ne muodostavat muotin pinnalle ohuen suojaavan kerroksen, joka vähentää kitkaa ja estää valettavan materiaalin tarttumista muottiin. Luonnonvahoihin perustuvat muotinirrotusaineet soveltuvat erityisesti sovelluksiin, joissa halutaan vähentää VOC-päästöjä ja käyttää uusiutuvia materiaaleja. Luonnonvahojen haasteena voivat kuitenkin olla heikompi lämmönkesto ja lyhyempi käyttöikä verrattuna synteettisiin vahoihin, minkä vuoksi niitä käytetään usein yhdessä muiden biopolymeerien tai kasviöljyjen kanssa. (Patel & Goyal 2015). Niiden käyttö on lisääntynyt etenkin biokomposiittien, betonivalujen ja 3D-tulostettujen muottien yhteydessä.



4.1.1 Karnaubavaha

Yksi yleisimmin käytetyistä luonnonvahoista on karnaubavaha, jota saadaan karnaubapalmun lehdistä. Karnaubavaha tunnetaan kovuudestaan, hyvästä lämmönkestävyydestään ja kiiltävän pinnan muodostamisesta. Karnaubavaha voi parantaa muotin pinnan kulutuskestävyyttä ja helpottaa valmiin kappaleen irrottamista muotista. (Fox 2022).

Karnaubavahan etuna pidetään myös sen biohajoavuutta ja uusiutuvaa alkuperää verrattuna moniin fossiilipohjaisiin irrotusaineisiin. Sen käyttöä tutkitaan erityisesti ympäristöystävällisissä pinnoite- ja suojaussovelluksissa, joissa tavoitteena on vähentää VOC-päästöjä ja haitallisten kemikaalien käyttöä. Karnaubavahaa voidaan käyttää sellaisenaan tai yhdessä muiden biopolymeerien, kuten tärkkelyksen, PLA:n ja kitosaanin kanssa, jolloin voidaan valmistaa kestäviä ja osittain biohajoavia pinnoite- ja kalvorakenteita. (Tharanathan 2003).

4.1.2 Mehiläisvaha

Mehiläisvahaa käytetään biopohjaisissa irrotusaineissa. Mehiläisvaha muodostaa joustavan ja vettä hylkivän kalvon, minkä vuoksi sitä voidaan hyödyntää erityisesti puu-, kipsi- ja betonimuoteissa. Sen etuina ovat luonnollinen alkuperä, biohajoavuus ja hyvä tarttumisenesto-ominaisuus. Mehiläisvahalla on melko alhainen sulamispiste, minkä vuoksi sitä yhdistetään usein kovempiin luonnonvaihoin pinnoitteen lämmönkestävyyden ja mekaanisen kestävyuden parantamiseksi. (Kończak 2026).

Muotinirrotusaineissa mehiläisvahaa voidaan käyttää joko sellaisenaan tai yhdistettynä esimerkiksi karnauba- ja soijavahaan. Vahaseoksilla pyritään parantamaan pinnoitteen kovuutta, lämmönkestävyyttä ja irrotustehoa erilaisissa muovausprosesseissa. Erityisesti betonivaluissa mehiläisvahapohjaiset käsitteilyt voivat vähentää pinnan virheitä ja parantaa valmiin kappaleen irtoamista muotista. (Patel & Goyal 2015).



4.1.3 Sojavaha

Sojavaha on kasvipohjainen vaha, jota valmistetaan hydratuista soijaöljyistä. Se on uusiutuva ja biohajoava materiaali ja sillä on hyvä levittyvyys ja vettähylkivyyys. Muotiniirrotusaineissa sojavaha muodostaa muotin pinnalle ohuen voitelevan kerroksen, joka vähentää kitkaa ja helpottaa valettavan kappaleen irrottamista muotista. Sen etuna on erityisesti alhainen myrkyllisyys. (Zhang ym. 2019).

Sojavahan haasteita ovat kuitenkin suhteellisen matala sulamispiste ja heikompi lämmönkestävyys verrattuna synteettisiin vahoihin. Tämän vuoksi sitä käytetään usein seoksina muiden vahojen, kuten karnauba- tai mehiläisvahan, kanssa. Yhdistelmä formulaatioilla voidaan parantaa pinnoitteen kovuutta, kestävyttä ja irrotustehoa erilaisissa muovausprosesseissa. (Patel & Goyal 2015).

4.1.4 Riisivaha

Riisivaha on riisinleseestä saatava kasvipohjainen vaha. Riisivahan käyttö perustuu erityisesti hyvään vettähylkivyyteen, kemialliseen stabiilisuuteen sekä kykyyn muodostaa muotin pinnalle ohut suojaava kalvo. Näiden ominaisuuksien ansiosta riisivaha voi vähentää kitkaa muotin ja valettavan materiaalin välillä sekä helpottaa kappaleen irrottamista muovausprosessin jälkeen. (Doan ym. 2018).

Riisivahan etuina pidetään sen biohajoavuutta, alhaista toksisuutta ja uusiutuvaa alkuperää verrattuna moniin synteettisiin vahatuotteisiin. Lisäksi sen suhteellisen korkea sulamispiste ja hyvä kovuus voivat parantaa pinnoitteen kestävyttä erityisesti komposiitti-, polymeeri- ja betonimuottisovelluksissa. Käytännössä riisivahaa käytetään usein yhdessä muiden luonnonvahojen ja biopolymerien kanssa, jotta pinnoitteen levittyvyyttä, lämmönkestävyyttä ja irrotusominaisuuksia voidaan parantaa. (Laftah ym. 2021).



4.1.5 Montaanivaha

Montaanivaha on ligniinistä (ruskeahiilestä) erotettava luonnonvaha. Sitä käytetään teollisuudessa erityisesti pinnoitteissa, voiteluaineissa ja muotinirrotusaineissa. Sen suosio perustuu korkeaan kovuuteen, hyvään lämmönkestävyyteen sekä kykyyn muodostaa kulutusta kestävä ja vettähylyvä pintakalvo. Näiden ominaisuuksien ansiosta montaanivaha soveltuu vaativiin muovausprosesseihin, joissa muotin pinnalta edellytetään hyvää mekaanista kestävyyttä ja tehokkaita irrotusominaisuuksia. (Wypych 2021).

Muotinirrotusaineissa montaanivaha vähentää kitkaa muotin ja valmistettavan kappaleen välillä sekä helpottaa kappaleen irrottamista muotista. Sitä käytetään erityisesti komposiitti-, kumi-, metalli- ja muoviteollisuudessa, joissa muotit altistuvat korkeille lämpötiloille ja mekaaniselle rasitukselle. Montaanivahan etuna on myös sen kyky muodostaa tasainen ja hyvin kiinnittyvä pinnoite, joka voi vähentää muotin kulumista ja pidentää muottien käyttöikä ja sillä on hyvä kemiallinen kestävyys. (Kirk-Othmer 2014).

Montaanivahaa käytetään usein yhdessä muiden vahojen ja voiteluaineiden kanssa. Yhdistelmäformulaatioilla voidaan parantaa esimerkiksi pinnoitteen levittyvyyttä, joustavuutta ja irrotustehoa. Erityisesti luonnonvahojen ja synteettisten vahojen yhdistelmillä pyritään tasapainottamaan lämmönkestoa sekä pinnan suojausominaisuuksia eri käyttökohteissa. (Wolfmeier ym. 2005).

Vaikka montaanivaha luokitellaan luonnonvahaksi, alkuperä fossiilisessa ligniinissä erottaa sen monista uusiutuvista kasvipohjaisista vahoista. Tämän vuoksi sen käyttöä tarkastellaan usein vaihtoehtona synteettisille vahatuotteille, mutta ei täysin uusiutuvana materiaalina. Montaanivahaa arvostetaan erityisesti teollisissa sovelluksissa sen hyvän kemiallisen kestävyuden ja pitkän käyttöiän vuoksi. (TER Chemicals 2025).



4.1.6 Parafiinivaha

Parafiinivaha on mineraaliöljystä valmistettava hiilivetyypohjainen vaha, jota käytetään laajasti teollisissa muotinirrotusaineissa sen hyvän voitelukyvyn, kemiallisen inerttiyden ja alhaisten valmistuskustannusten vuoksi. Muotinirrotusaineena parafiinivaha muodostaa muotin pinnalle ohuen vettähylkivän kalvon, joka vähentää kitkaa ja helpottaa valettavan kappaleen irrottamista muotista. Sitä käytetään erityisesti muovi-, kumi-, komposiitti- ja betoniteollisuudessa, joissa tarvitaan tasainen pinnanlaatu ja tehokas irrotusprosessi. (Wypych 2021).

Parafiinivahan etuna on myös sen hyvä prosessoitavuus. Se voidaan levittää muotin pinnalle esimerkiksi sulatettuna, emulsiona tai liuotinperusteisena pinnoitteena. Lisäksi parafiinivahaa käytetään usein yhdessä muiden vahojen ja voiteluaineiden kanssa irrotusominaisuuksien sekä pinnoitteen kestävyysparantamiseksi. Erityisesti mikrokiteisten vahojen ja silikoniyhdisteiden kanssa muodostetut seokset voivat lisätä pinnoitteen lämmönkestoa ja mekaanista kestävyyttä. (Wolfmeier ym. 2005).

Muotinirrotusaineissa parafiinivahan toiminta perustuu sen kykyyn pienentää muotin ja materiaalin välistä adheesiota. Tämä voi vähentää muottien kulumista, helpottaa puhdistusta ja parantaa lopputuotteen pinnanlaatua. Parafiinivahaa käytetään myös 3D-tulostettujen muottien pintakäsittelyissä, joissa tarvitaan helposti levittyviä ja tasaisia pinnoitteita.

Parafiinivahan käyttöön liittyy kuitenkin ympäristöhaasteita, sillä se on fossiilipohjainen materiaali eikä biohajoa yhtä tehokkaasti kuin luonnonvahat. Lisäksi liuotinperusteiset parafiinivahatuotteet voivat sisältää haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), jotka lisäävät ympäristö- ja työturvallisuusriskejä tuotantoympäristössä. (Patel & Goyal 2015).



4.1.7 Muut kasvipohjaiset vahat

Palmuvaha, kandelillavaha ja auringonkukkavaha ovat kiinnostavia vaihtoehtoja muotinirrotusaineissa erityisesti niiden luonnollisen alkuperän ja biohajoavuuden vuoksi. Kasvipohjaiset vahat voivat muodostaa muotin pinnalle vetähylkivän ja voitelevan kalvon, joka vähentää materiaalin tarttumista muottiin sekä helpottaa valmiin kappaleen irrottamista. (Hernández 2021).

Palmuvahaa käytetään teollisissa pinnoitteissa ja vahaseoksissa sen hyvän kovuuden ja lämmönkestävyyden vuoksi. Sen ominaisuudet voivat parantaa pinnoitteiden mekaanista kestävyyttä sekä muotin pinnan kulutuksensietoa. Kandelillavaha puolestaan tunnetaan korkeasta sulamispisteestään ja kiiltävän, tasan pinnan muodostamisesta. Tämän vuoksi sitä hyödynnetään erilaisissa pinnoite- ja suojaussovelluksissa sekä vahaseoksissa, joissa tarvitaan hyvää kosteudenkestoa ja pinnoitteen kestävyyttä. (Patel & Goyal 2015).

Auringonkukkavaha on uusiutuva kasvipohjainen vaha, jota saadaan auringonkukkaöljyn jalostuksen sivutuotteena. Sen etuina pidetään hyvää biohajoavuutta, alhaista toksisuutta ja mahdollisuutta käyttää sitä vesipohjaisissa järjestelmissä. Auringonkukkavahan käyttöä tutkitaan erityisesti biopohjaisissa pinnoitteissa ja voiteluaineissa, joissa tavoitteena on korvata synteettisiä tai fossiilipohjaisia komponentteja ympäristöystävällisemmällä vaihtoehdoilla (Hernández ym. 2021).

4.2 Selluloosapohjaiset biopolymeerit

Selluloosajohdannaiset ovat kemiallisesti muokattuja selluloosapolymeerejä. Tavallisia johdannaisia ovat esimerkiksi karboksimeetyyliselluloosa (CMC), metyyliiselluloosa (MC), hydroksietyyliselluloosa (HEC) ja hydroksiopropyylimetyyliselluloosa (HPMC). Näitä aineita käytetään muotinirrotusaineissa erityisesti sakeuttajina, kalvonmuodostajina ja emulsion stabiloijina. Selluloosapohjaiset yhdisteet voivat muodostaa ohuen suojaavan kerroksen muotin pinnalle, mikä vähentää kitkaa ja estää materiaalin tarttumista muottiin. (Zhang ym. 2023).



4.2.1 Karboksimeetyliselluloosa CMC

Karboksimeetyliselluloosa (CMC), jota kutsutaan myös natriumkarboksimeetyliselluloosaksi tai selluloosakumiksi, on luonnollisista kasvikuiduista valmistettu vesiliukoinen anioninen selluloosaeetteri (Liu ym. 2021). CMC on teollisuudessa yleisesti käytetty selluloosajohdannainen, jonka käyttö perustuu sen hyvään vesiliukoisuuteen ja kykyyn hallita nesteiden viskositeettia. CMC pystyy sitomaan tehokkaasti vettä ja muodostamaan tasaisia sekä viskooseja liuoksia jo pieninä pitoisuuksina. Näiden ominaisuuksien vuoksi sitä käytetään esimerkiksi sakeuttajana, stabilointiaineena ja kalvonmuodostajana maaleissa, pinnoitteissa sekä muotiniirrotusaineissa. CMC:n etuihin kuuluu myös hyvä biohajoavuus ja alhainen myrkyllisyys verrattuna perinteisiin öljy- ja silikonipohjaisiin irrotusaineisiin. Muotiniirrotusaineissa CMC muodostaa muotin pinnalle suojaavan kalvon, joka vähentää materiaalin tarttumista ja parantaa lopputuotteen pinnanlaatua ja helpottaa muottien puhdistamista käytön jälkeen. (Rahman ym. 2020).

CMC:tä käytetään usein yhdessä muiden biopohjaisten lisäaineiden, kuten luonnonvahojen ja kasviöljyjen, kanssa. Yhdistelmäformulaatioilla pyritään parantamaan irrotusominaisuuksia, pinnoitteen kestävyyttä ja levittyvyyttä. Erityisesti betonivaluissa ja komposiittimateriaaleissa tällaiset biopohjaiset järjestelmät tarjoavat ympäristöystävällisen vaihtoehdon perinteisille kemiallisille irrotusaineille. (León-Martínez ym. 2015).

4.2.2 Metyyliselluloosa MC

Metyyliselluloosa (MC) on vesiliukoinen, ioniton selluloosaeetteri, jota valmistetaan muokkaamalla luonnollista selluloosaa metyyliryhmillä. MC tunnetaan erityisesti hyvistä sakeuttamis-, vedenpidätys- ja kalvonmuodostusominaisuuksistaan, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti sementtipohjaisissa materiaaleissa parantamaan niiden rheologisia ominaisuuksia, työstettävyyttä ja massan koosapysyvyyttä. Tutkimusten mukaan selluloosaeetterit lisäävät sementtipastan viskositeettia ja hidastavat veden liikkumista, mikä parantaa materiaalin käsiteltävyyttä ja vähentää veden erottumista. (Patural ym. 2011; Pourchez ym. 2006).



Metyyliselluloosan vaikutus perustuu sen kykyyn muodostaa vesiliuoksessa kolloidinen, kolmiulotteinen verkostorakenne. Tämä rakenne sitoo vettä ja muodostaa ohuen kalvon kiinteiden partikkelien pinnoille. Kalvo voi adsorboitua sementtipartikkelien sekä muottipinnan rajapintaan, jolloin betonin ja muotin välinen suora kontakti vähenee. Samalla MC:n viskositeettia lisäävä vaikutus hidastaa veden migraatiota ja vähentää mekaanisen tartunnan muodostumista erityisesti huokosiin muottimateriaaleihin. (Khayat 1998; Patural ym. 2011).

Selluloosaeetterien on lisäksi havaittu muuttavan betonin pinta- ja rajapintaominaisuuksia. Ne adsorboituvat sementtipartikkelien pinnalle ja muodostavat fysikaalisen kalvon, joka vaikuttaa hydraatioreaktion kulkuun sekä rajapinnan rakenteeseen. Toisaalta selluloosaeetterit voivat myös lisätä materiaalin tarttuvuutta alustaan. Tämä ominaisuus on hyödyllinen esimerkiksi laasteissa, mutta muotiniirrotuksen näkökulmasta se voi olla haitallinen. (Pourchez ym. 2006; Brumaud ym. 2013).

Tutkimukset osoittavat, että metyyliiselluloosan lisääminen sementtipastaan voi kasvattaa sidoksen lujuutta ja materiaalin sitkeyttä, mutta joissakin tapauksissa samalla heikentää puristuslujuutta. Tämän perusteella MC:tä voidaan pitää ennen kaikkea betonin rakennetta ja ominaisuuksia muokkaavana lisäaineena, ei varsinaisena irrotusaineena. (Ramachandran 1995). Muotiniirrotuksessa metyyliiselluloosa voi kuitenkin toimia fysikaalisena kalvonmuodostajana. Sen hydrofiilinen luonne ja adheesiota parantava vaikutus rajoittavat kuitenkin käyttöä yksinään. Käytännössä MC soveltuu parhaiten osaksi monikomponenttisia, yleensä vesipohjaisia irrotusaineseoksia, joissa varsinainen irrotusmekanismi perustuu hydrofobisiin komponentteihin, kuten öljyihin tai estereihin. (Khayat 1998; Euclid Chemical 2023).

4.2.3 Hydroksietyyliiselluloosa HEC

Hydroksietyyliiselluloosa (HEC) on vesiliukoinen, ioniton selluloosaeetteri, jota valmistetaan muokkaamalla luonnollista selluloosaa hydroksietyyliiryhmillä.



HEC tunnetaan erityisesti hyvistä sakeuttamis-, kalvonmuodostus-, emulgointi- ja vedenpidätysominaisuuksistaan, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti erilaisissa teollisissa sovelluksissa, kuten pinnoitteissa, rakennusmateriaaleissa, kosmetiikassa ja lääkevalmisteissa. (KIMA Chemical s.a.).

HEC:n etuina pidetään hyvää biohajoavuutta, alhaista toksisuutta ja uusiutuvaa alkuperää, sillä sen raaka-aineena käytetään yleensä puupohjaista selluloosaa tai puuvillakuituja. Lisäksi HEC liukenee helposti kylmään ja kuumaan veteen muodostaen kirkkaan ja viskoosisen liuoksen, mikä helpottaa sen käyttöä vesipohjaisissa irrotusaineseoksissa. (ChemicalBook 2022).

4.2.4 Hydroksipropyylimetyyliselluloosa HPMC

Hydroksipropyylimetyyliselluloosa (HPMC) on vesiliukoinen selluloosajohdannainen, jota valmistetaan kemiallisesti muokkaamalla luonnollista selluloosaa. HPMC:tä käytetään laajasti teollisuudessa sen sakeuttavien, kalvonmuodostavien ja vedenpidätysominaisuuksien vuoksi. Lisäksi se parantaa emulsioiden stabiilisuutta ja mahdollistaa tasaisen sekä mekaanisesti kestävä pinnoitteen muodostumisen. (Rowe ym. 2009).

Muotinirrotusaineissa HPMC toimii erityisesti viskositeetin säätäjänä ja suojaavan pintakalvon muodostajana. Sen avulla voidaan muodostaa muotin pinnalle tasainen kerros, joka vähentää kitkaa ja ehkäisee materiaalin tarttumista muottiin. HPMC soveltuu erityisesti vesipohjaisiin irrotusaineseoksiin hyvän levittyvyytensä ja yhteensopivuutensa ansiosta. Lisäksi sitä voidaan käyttää yhdessä muiden biopohjaisten lisäaineiden, kuten luonnonvahojen ja kasviöljyjen kanssa. (Klemm ym. 2018).

HPMC:n käyttöä pidetään kiinnostavana erityisesti ympäristöystävällisissä pinnoite- ja irrotusainesovelluksissa, sillä se on biohajoava ja perustuu uusiutuviin raaka-aineisiin. Sen käyttöä tutkitaan muun muassa betonivaluissa, komposiittimuoteissa ja muissa muovausprosesseissa, joissa tavoitteena on vähentää fossiilipohjaisten kemikaalien käyttöä ja pienentää VOC-päästöjä. (Hydroxypropyl Methylcellulose Factory 2025).



5 TÄRKKELYSPOHJAISET BIOPOLYMEERIT SEKÄ PLA- JA PHA-MATERIAALIT BIOHAJOAVINA JA UUSIUTUVINA MATERIAALIRATKAISUINA

Tärkkelyspohjaiset biopolymeerit ovat uusiutuvista kasvilähteistä valmistettuja biohajoavia materiaaleja, joiden raaka-aineena käytetään esimerkiksi maissia, perunaa, vehnää tai kassavaa. Tärkkelys koostuu amyloosista ja amylopektiinistä, jotka mahdollistavat materiaalin biohajoavuuden ja kalvonmuodostuksen. (Averous & Boquillon 2004; Tharanathan 2003).

Tärkkelyspohjaisten materiaalien lisäksi biohajoaviin biopolymeereihin kuuluvat myös polylaktidi (PLA) ja polyhydroksialkanoaatit (PHA). PLA on uusiutuvista raaka-aineista, kuten maissitärkkelyksestä, valmistettava biohajoava polyesteri, jota käytetään erityisesti pakkauksissa, kalvoissa ja 3D-tulostusmateriaaleissa. PHA puolestaan on mikro-organismien tuottama biopolymeeri, joka tunnetaan hyvästä biohajoavuudestaan ja bioyhteensopivuudestaan sekä soveltuvuudestaan esimerkiksi pakkaus- ja pinnoitesovelluksiin. (Auras ym. 2010; Koller 2018).

5.1 Termoplastinen tärkkelys (TPS)

Tärkkelyspohjaiset biopolymeerit ovat myös kiinnostavia niiden uusiutuvan alkuperän ja hyvän biohajoavuuden vuoksi. Tärkkelystä voidaan käyttää yhdessä muiden biopolymeerien, kuten PLA:n ja kitosaanin kanssa, jolloin voidaan muodostaa kalvomaisia rakenteita ja pinnoitteita. PLA:n, tärkkelyksen ja kitosaanin yhdistelmien on todettu muodostavan mekaanisesti ja termisesti kestäviä biopolymeerikalvoja, joita voidaan hyödyntää erilaisissa pinnoite- ja suojaussovelluksissa. (Zhong & Li 2013).

Termoplastinen tärkkelys (TPS) on yksi yleisimmistä tärkkelyspohjaisista biopolymeereistä. Se valmistetaan sekoittamalla tärkkelystä pehmittimien, kuten glyserolin tai veden, kanssa, jolloin materiaalista saadaan muovattava ja termoplastinen. TPS on biohajoava ja uusiutuva materiaali, minkä vuoksi sitä pidetään ympäristöystävällisenä vaihtoehtona fossiilipohjaisille muoveille. TPS:ää



käytetään erityisesti biohajoavissa pakkauksissa, kalvoissa ja biokomposiiteissa. (Averous & Boquillon 2004).

TPS:ää voidaan hyödyntää myös biohajoavissa pinnoite- ja muotiniirrotusaine-seoksissa erityisesti silloin, kun tavoitteena on kehittää ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja perinteisille fossiilipohjaisille irrotusaineille. Materiaalin käyttö perustuu sen hyvään kalvonmuodostuskykyyn sekä mahdollisuuteen yhdistää sitä muihin biopohjaisiin aineisiin, kuten kasviöljyihin, luonnonvahoihin ja selluloosajohdannaisiin. TPS:n käyttöä rajoittavat kuitenkin kosteusherkkyyys, heikko vedenkestävyys ja rajallinen mekaaninen kestävyys, minkä vuoksi sitä usein modifioidaan tai yhdistetään muihin polymeereihin. (Averous & Boquillon 2004; Tharanathan 2003).

5.2 Tärkkelyspohjaiset biopolymeerit ja polylaktidia (PLA)

Tärkkelys-PLA-komposiitit ovat biokomposiittimateriaaleja, joissa yhdistetään tärkkelyspohjaisia biopolymeerejä ja polylaktidia (PLA). Näiden materiaalien tarkoituksena on yhdistää tärkkelyksen biohajoavuus ja alhaiset kustannukset PLA:n parempaan mekaaniseen kestävyteen, lämpöstabiilisuuteen ja prosessoitavuuteen. Tärkkelys toimii komposiiteissa usein täyteaineena tai biohajoavuutta lisäävänä komponenttina, kun taas PLA parantaa materiaalin lujuutta ja kosteudenkestävyyttä. (Averous & Halley 2009).

Tärkkelys-PLA-komposiitteja valmistetaan yleensä sulasekoitusmenetelmällä, jossa materiaalit yhdistetään lämmön ja mekaanisen sekoituksen avulla. Materiaalin ominaisuuksia voidaan edelleen parantaa lisäämällä pehmittimiä, luonnonkuituja tai yhteensopivuutta parantavia lisäaineita. Tärkkelyksen lisääminen PLA:han voi alentaa materiaalin valmistuskustannuksia sekä nopeuttaa materiaalin biohajoamista kompostointiolosuhteissa. (Muller ym. 2017).

Tärkkelys-PLA-komposiitteja käytetään erityisesti biohajoavissa pakkauksissa, elintarvikekalvoissa, kertakäyttötuotteissa, maatalouskalvoissa sekä 3D-tulostusmateriaaleissa. Lisäksi niitä tutkitaan ympäristöystävällisissä pinnoite- ja



muotiniirrotusaineratkaisuissa, joissa tavoitteena on korvata fossiilipohjaisia polymeerejä uusiutuvilla vaihtoehdoilla. (Averous & Halley 2009; Muller ym. 2017).

5.3 Polylaktidikuitu PLA

Polylaktidikuitu (PLA) on synteettinen biokuitu, jota valmistetaan joko liuospuhallus- tai suulakepuristusmenetelmällä käyttäen PLA-hartsia. Tässä prosessissa PLA joko liuotetaan kolloidiseen liuokseen tai sulatetaan, ja sen jälkeen se puristetaan kierteiden ja kuiturakenteiden muodostamiseksi suuttimen läpi. Suuttimesta tulevat kuidut kovettuvat sopivassa väliaineessa. (Penconek ym. 2024).

Vaikka liuospuhalletut kuidut yleensä osoittavat parempia mekaanisia ominaisuuksia, pienempää kuituhalkaisijaa ja korkeampaa suodatustehoa verrattuna sulatuspuhallettuihin kuituihin, liuospuhallusprosessi on teollisessa mittakaavassa monimutkainen. Menetelmään liittyy merkittäviä haasteita, kuten käytetyn orgaanisen liuottimen talteenoton vaikeus sekä vaativat puhallusolosuhteet, mikä johtaa korkeampiin tuotantokustannuksiin (Penconek ym. 2024; Wang ym. 2023). Siksi suulakepuristus ja siihen kytkeytyvä sulatuspuhallus ovat pääasiallisia menetelmiä PLA-kuitujen kaupallisessa massatuotannossa (Wang ym. 2023).

PLA:n tuotantoon liittyy kasviperäisten sokerien fermentointi maitohapoksi, joka polymeroidaan polylaktidiksi. Maissitärkkelys on tällä hetkellä maailmanlaajuisesti yleisimmin käytetty raaka-ainelähde. (Auras ym. 2010). Muina uusiutuvina vaihtoehtoina teollisuudessa voidaan käyttää sokeriruokoa, tapiokajuurta, kas-savaa ja sokerijuurikasphjaa. (Good Start Packaging s.a.).

PLA tarjoaa kestävän ja vähähiilisemmän vaihtoehdon perinteisille fossiilisille muoveille, sillä sen raaka-aineet saadaan uusiutuvista lähteistä ja materiaali kykenee biohajoamaan teollisissa kompostointiolosuhteissa (Vähäkangas 2021).



5.4 Polyhydroksialkanoaatti PHA

Polyhydroksialkanoaattit (PHA) ovat mikro-organismien tuottamia biohajoavia biopolymeerejä, joita pidetään potentiaalisina vaihtoehtoina fossiilipohjaisille muoveille. PHA-yhdisteitä muodostuu bakteereissa energiavarastoiksi erityisesti tilanteissa, joissa ravinteiden saatavuus on epätasapainossa. Materiaalien kiinnostavuus perustuu niiden biohajoavuuteen, bioyhteensopivuuteen sekä uusiutuvaan alkuperään. PHA-materiaaleja voidaan valmistaa uusiutuvista raaka-aineista, kuten kasvipohjaisista sokereista, kasviöljyistä ja orgaanisista jätteistä. (Koller 2018).

PHA-polymeerien ominaisuuksia voidaan muokata niiden kemiallisen koostumuksen avulla, mikä mahdollistaa materiaalien hyödyntämisen useissa erilaisissa sovelluksissa. Materiaaleilla on hyvät kalvonmuodostusominaisuudet sekä suhteellisen hyvä kemiallinen ja lämpötilallinen kestävyys. PHA:ta tutkitaan erityisesti pakkausmateriaaleissa, pinnoitteissa, lääketieteellisissä sovelluksissa sekä komposiittirakenteissa, joissa tavoitteena on vähentää fossiilipohjaisten materiaalien käyttöä ja pienentää ympäristökuormitusta. Lisäksi PHA-komposiittien on havaittu parantavan materiaalien mekaanisia ominaisuuksia ja biohajoavuutta. (Koller 2018; Mitra ym. 2022).

6 BIOPOHJAISTEN MUOTINIRROTUSAINIEN VERTAILU

Biopohjaisten muotinirrotusainien ominaisuudet vaihtelevat materiaalien kemiallisen rakenteen, lämmönkeston, biohajoavuuden ja prosessoitavuuden mukaan. Osa materiaaleista soveltuu erityisesti vesipohjaisiin betonimuottisovelluksiin, kun taas osa tarjoaa paremman lämmönkeston vaativiin komposiitti- ja polymeeriprosesseihin. Lisäksi VOC-pitoisuuden ja biohajoavuuden merkitys on kasvanut ympäristö- ja työturvallisuusvaatimusten kiristyessä.

3D-tulostetussa betonirakentamisessa muotinirrotusaineelta vaaditaan hyvää tarttumisenestoa, tasaista levittyvyyttä, vähäistä vaikutusta pinnanlaatuun sekä kestävyttä kosteutta, lämpöä ja betonin emäksistä ympäristöä vastaan. Lisäksi



irrotusaineen tulee mahdollistaa useat käyttösyklit ilman merkittävää suorituskyvyn heikkenemistä.

Biopohjaiset muotinirrotusaineet voidaan jakaa neljään pääryhmään: vahat, seluloosapolymeerit, tärkkelyspohjaiset biopolymeerit sekä kasviöljyt ja bioesterit. Niiden toimivuus perustuu erityisesti hydrofobisuuteen, kalvonmuodostukseen ja lämmönkestoon. Seuraavissa taulukoissa (Taulukot 1–4) esitetään biopohjaisten muotinirrotusaineiden ominaisuuksien vertailu eri materiaaliryhmissä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Etelä-Savon
maakuntaliitto**



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Kasviöljyjen ja bioestereiden ominaisuudet

Materiaali	Viskositeetti	Lämmön-kesto °C / lämpökäyt-täytyminen	Kalvonmuo-dostus	Hydrofobisuus	Käyttö muoti-nirrotuksessa	Huomioitavaa
Kasviöljyt (yleisesti)	Keskikorkea viskositeetti; korkea viskositeetti-indeksi	150–250 °C Kohtalainen; heikompi lämmönkesto kuin synteettisillä öljyillä	Hyvä; muodostaa voiteluvan voitelu-kalvon	Hyvä; hydrofobi-nen lipidipohja	Käytetään bio-pohjaisina release- ja voi-teluaineina	Heikko oksidatiivinen stabiilisuus ja lämpöherkkyys
Rypsi-/rap-siöljy (esi-merkki)	Relatiivisen korkea viskositeetti, hyvä virtaavuus lämpötilariip-puvainen	200–240 °C Kohtalainen; ominaisuudet heikkenevät korkeissa läm-pötiloissa	Hyvä; paran-taa kalvon muodostusta komposii-teissa	Hyvä; lisää pin-noitteiden hyd-rofobisuutta	Voidaan käyt-tää betonin tai puun irrotuk-sessa	Voi hapettua → vaatii stabilointia
Bioesterit (yleisesti)	Säädettä-vissä; visko-siteetti opti-moitavissa synteeseillä	200–300 °C Hyvä; parempi lämpöstabili-lisuus kuin kas-viöljyillä	Erittäin hyvä; muodostaa stabiilin voi-telu-/release-kalvon	Hyvä–erittäin hyvä; esterit li-säävät hydrofo-bisuutta	Soveltuu hyvin release- ja voi-teluaineisiin	Synteesi lisää kustannuksia
Luonnones-terit (rasva-happoeste-rit)	Keskikorkea viskositeetti; hyvä virtaus-ominaisuus	200–300 °C Hyvä; käytettä-vissä laajalla lämpötila-alu-eella	Hyvä; muo-dostaa yhte-näisen kal-von	Hyvä; polaari-nen rakenne pa-rantaa pinnan tarttumista mutta säilyttää hydrofobisuu-den	Käytetään biolubrikaati-oissa ja pin-noitteissa	Parempi bioha-joavuus
Synteettiset bioesterit	Tarkasti sää-dettävä vis-kositeetti ja reologia	250–350 °C erinomainen; soveltuu kor-keisiin lämpöti-loihin	Erinomainen; muodostaa kestävä-n ja ohuen filmi-kerroksen	Hyvä–erittäin hyvä; korkea vedenhylkivyy-s	Soveltuu vaati-viin re-lease-sovelluk-siin	Korkeampi val-mistuskustannus

Taulukko 1. Kasviöljyjen ja bioestereiden ominaisuuksien vertailu muotinirrotuksen näkökulmasta. Taulukko esittää keskeiset fysikaaliset ja funktionaaliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen biopohjaisina irrotusaineina.

Vahojen ominaisuudet muotinirrotussovelluksissa

Materiaali	Viskositeetti	Lämmönkesto(°C) / lämpökäyttäytyminen	Kalvonmuodostus	Hydrofobisuus	Käyttö muotinirrotuksessa	Huomioitavaa
Mehiläisvaha	Kiinteä; toimii viskositeetin säätelijänä ja plastisoivana komponenttina	61–65 °C Hyvä, pehmenee vähitellen, ei yleensä kutistu paljon. Palkaa vakaasti. Luonnollinen ja melko joustava	Hyvä; muodostaa joustavan ja yhtenäisen kalvon	Hyvä; vettä hylkivä pinta	Käytetään pääasiassa seoksissa muiden vahojen kanssa	Alhaisempi lämmönkesto, mutta hyvä leivittyvyys
Soijavaha	Kiinteä; sulana matala–keskiviskositeettinen	46–68 °C Heikko-kohtalainen, Pehmenee helposti lämpimässä. Alttiimpi ”frostingille” ja painaumille. Soveltuu paremmin sisäkäyttöön.	Kohtalainen; muodostaa pehmeän kalvon	Kohtalainen; rajallinen vedenhylkivävyys	Harvoin käytetään yksin muotinirrotuksessa	Alhainen lämmönkesto rajoittaa käyttöä
Parafinivaha	Kiinteä; sulana matalan viskositeetin neste	46–68 °C Kohtalainen, sulakäyttäytyminen hyvin hallittavissa, kutistuu jäähtyessä enemmän kuin luonnonvahat. Hyvä valuteknikassa.	Hyvä; muodostaa tasaisen ja jatkuvan kalvon	Hyvä; tehokas barrierkerros	Yleisesti käytetty perinteinen muotinirrotusaine	Fossiilipohjainen materiaali
Montaanivaha	Kiinteä; korkean viskositeetin sulafaasi	75–95 °C Erittäin hyvä, kova ja kiiltävä. Kestää korkeita lämpöjä hyvin. Lisää muiden vahojen kovuutta ja kiiltoa	Erittäin hyvä; muodostaa kovan ja kestävä kalvon	Erittäin hyvä; korkea vedenhylkivävyys	Käytetään teollisissa sovelluksissa	Erittäin kova → vaatii prosessointia
Karnaubavaha	Kiinteä; viskositeettia lisäävä komponentti	80–86 °C Erinomainen, Hyvin kova ja kulutuskestävä. Korkea kiilto. Tekee seoksista lämpöstabieleja mutta myös hauraampia.	Erinomainen; muodostaa kovan ja kiiltävän kalvon	Erittäin hyvä; muodostaa tiiviin suoja-kerroksen	Laajasti käytetty komposiitti- ja muottisovelluksissa	Kova ja hauras; käytetään usein seoksissa

Taulukko 2. Yleisimpien luonnon- ja mineraalivahojen ominaisuuksien vertailu muotinirrotussovelluksissa. Taulukossa esitetään keskeiset fysikaaliset ominaisuudet (viskositeetti, lämmönkesto), funktionaaliset ominaisuudet (kalvonmuodostus, hydrofobisuus) sekä käytännön soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät.



Selluloosapolymerien ominaisuudet

Materiaali	Viskositeetti	Lämmönkesto / lämpökäyttäytyminen	Kalvonmuodostus	Hydrofobisuus / hydrofiilisyytys	Käyttö muotintirrotuksessa	Huomioitavaa
CMC (karboksimeetyliselluloosa)	Korkea viskositeetti; tehokas sakeuttaja, erityisesti vesiliuoksissa	Ei varsinaista sulamispistettä; termisesti hajoava 200–250 °C	Kohtalainen; muodostaa pehmeitä ja vesiliukoisia kalvoja	Erittäin hydrofiilinen; sitoo vettä tehokkaasti	Käytetään li-säaineena (viskositeetin ja tartunnan säätöön)	Herkkä ionivahvuudelle ja pH:lle
MC (metyyliselluloosa)	Kohtalainen–korkea viskositeetti; lämpötilariippuvainen	Terminen geeliytyminen >60 °C geeliytyy kuumennettaessa)	Hyvä; muodostaa suhteellisen jäykkiä kalvoja	Hydrofiilinen, mutta hieman vähemmän kuin CMC	Voidaan käyttää ohuiden kalvojen muodostukseen	Rajallinen liukoisuus kuumassa vedessä
HEC (hydroksietyyli-selluloosa)	Korkea viskositeetti; erinomainen reologian säätö	Ei sula, vaan geeli ohenee ja lopulta hajoaa, ei ole tarkoitettu korkealämpöiseen kiinteään käyttöön	Hyvä; muodostaa joustavia ja läpinäkyviä kalvoja	Erittäin hydrofiilinen; erinomainen vedensitominen	Mahdollinen biopohjainen vaihtoehto barrier-pinnoitteisiin	Stabiili laajalla pH-alueella
HPMC (hydroksi-propyyli-metyyliselluloosa)	Korkea viskositeetti; hyvin säädettävissä	200–260 °C Terminen geeliytyminen; hyvä lämpöstabiilisuus	Erinomainen; muodostaa kestävä, joustavan kalvon	Kohtalaisen hydrofiilinen; sisältää myös hieman hydrofobisia ryhmiä	Soveltuu pinnoitteisiin ja mahdollisesti release-keroksiin	Paras yhdistelmä kalvonmuodotusta ja kestävyttä

Taulukko 3. Yleisimpien selluloosapohjaisten polymeerien (selluloosaeetterien) ominaisuuksien vertailu. Taulukossa esitetään keskeiset fysikaaliset ja funktionaaliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen mm. pinnoitteissa ja mahdollisissa muotintirrotussovelluksissa.



Tärkkelyspohjaisten biopolymeerien ominaisuudet

Materiaali	Viskositeetti	Lämmön-kesto / lämpökäyttyminen	Kalvonmuodostus	Hydrofobisuus / hydrofiilisyy	Käyttö muotinnirrotuksessa	Huomioitavaa
TPS (termoplastinen tärkkelys)	Korkea viskositeetti sulassa; riippuu plastisointiasteesta	Ei selkeää sulamispistettä; hajoaa lähellä 200–300 °C	Hyvä; voidaan muodostaa kalvoja (esim. puhalluskalvo)	Erittäin hydrofiilinen; sitoo vettä voimakkaasti	Rajoitettu; toimii lähinnä bio-lisäaineena	Heikko kosteudenkesto, vaatii modifiointia
Tärkkelyspohjaiset biopolymeerit (seokset)	Vaihtelee; säädettävissä seoksilla (polymeerit, plastosijat)	200–300 °C; tärkkelys alkaa degradoitua, riippuu komposiitista	Hyvä–erittäin hyvä; voidaan parantaa ristikytkenällä	Hydrofiilinen → modifioitavissa osittain hydrofobiseksi	Mahdollinen pinnoitteissa	Tarvitsee kemiallista/fyysistä modifiointia
PLA (poly-laktidi)	Sulana keski-korkea viskositeetti; sopii prosessointiin extrusiona	T _m n. 150–180 °C, hajoaminen 250–350 °C	Erinomainen; muodostaa läpinäkyviä, kestäviä kalvoja	Kohtalaisen hydrofobinen (parempi barrier kuin TPS)	Soveltuu barrier-pinnoitteisiin	Jäykkä ja hauras ilman modifiointia
PLA-kuitu	Sulafaasin viskositeetti soveltuu kehäykseen	Sulamispiste ~150–175 °C Heikko lämmönkestävyys	Ei varsinainen kalvo, mutta muodostaa kuituverkkoja	Kohtalaisen hydrofobinen	Ei suoraan, mutta voi toimia rakenteellisena kerroksena	Hyvät mekaaniset ominaisuudet
PHA (polyhydroksialkanoaatti)	Vaihteleva viskositeetti; riippuu kopolymeeristä	T _m n. 120–180 °C, hajoaminen 200–250 °C	Hyvä–erittäin hyvä; soveltuu kalvoihin ja pinnoitteisiin	Hydrofobisempi kuin PLA, hyvä kosteussuoja	Hyvä potentiaali barrier-tyyppisenä irrotuskerroksena	Kalliimpi, mutta biohajoava myös luonnossa

Taulukko 4. Tärkkelyspohjaisten biopolymeerien ominaisuuksien vertailu muotinnirrotussovellusten näkökulmasta. Taulukossa on esitetty keskeiset fysikaaliset ominaisuudet, kalvonmuodostuskyky ja vedenhylkivyy.

Taulukoiden perusteella biopohjaiset muotiniirrotusaineet voidaan jakaa neljään pääryhmään: vahat, selluloosapolymeerit, tärkkelyspohjaiset biopolymeerit sekä kasviöljyt ja bioesterit. Näiden materiaalien toimivuus perustuu erityisesti hydrofobisuuteen, kalvonmuodostuskykyyn ja lämmönkeston.

Vahat ovat tehokkain materiaalityyppi, koska ne muodostavat kestävä ja vettä hylkivän pintakalvon sekä kestävät hyvin lämpöä. Erityisesti karnaubavaha ja montaanivaha soveltuvat vaativiin muotiniirrotussovelluksiin. Bioesterit puolestaan tarjoavat lupaavimman nestemäisen biopohjaisen vaihtoehdon hyvän voitelukyvyyn, lämmönkeston ja säädettävän viskositeetin ansiosta.

Kasviöljyt tarjoavat hyvän hydrofobisuuden ja voitelukyvyyn, mutta niiden hapettumiskestävyys ja lämmönsieto ovat rajallisia. Selluloosa- ja tärkkelyspohjaiset materiaalit ovat pääosin hydrofiilisiä, minkä vuoksi ne soveltuvat parhaiten lisäaineiksi tai yhdistelmäjärjestelmiin. Näistä erityisesti HPMC, HEC, PLA ja PHA osoittavat potentiaalia kalvonmuodostuksessa ja biohajoavissa pinnoiteratkaisuissa.

Kokonaisuutena parhaat ominaisuudet saavutetaan yhdistämällä eri materiaalityyppien vahvuuksia. Bioesterien, luonnonvahojen ja selluloosajohdannaisien yhdistelmät tarjoavat lupaavan lähtökohdan ympäristöystävällisten ja vähäpäästöisten muotiniirrotusaineiden kehittämiseen erityisesti 3D-tulostettuihin betonimuotteihin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuden perusteella erityisen lupaavia vaihtoehtoja löytyi monia kuten bioesteripohjaiset irrotusaineet, karnaubavaha sekä selluloosajohdannaisiin perustuvat vesipohjaiset järjestelmät. Vahat ovat teknisesti tehokkain materiaalityyppi muotiniirrotuksessa, erityisesti silloin kun vaaditaan hyvä vedenhylkivävyys ja useita irrotuskertoja. Bioesterit vaikuttavat myös teknisesti lupaavilta niiden hyvän lämmönkeston, alhaisen VOC-pitoisuuden, hyvän voitelukyvyyn ja betoniyhteensopivuuden ansiosta.



Karnaubavaha soveltuu hyvin 3D-tulostettujen muottien pintakäsittelyihin korkean kovuutensa, lämmönkestonsa ja vettähylykivyytensä vuoksi. Sen yhdistäminen rypsiöljyyn tai bioestereihin voi parantaa pinnoitteen levittyvyyttä ja joustavuutta. Karnaubavahan ja rypsiöljyn yhdistelmä voisi tarjota hyvän tasapainon kulutuskestävyyden, vettähylykivyyden ja levittyvyyden välillä, kun taas karnaubavahan ja bioesterin yhdistelmä voisi parantaa voitelukykyä ja prosessoitavuutta.

Selluloosajohdannaisista erityisesti HPMC ja HEC vaikuttaa lupaavalta vesipohjaisissa ja vähäpäästöisissä järjestelmissä hyvän kalvonmuodostuksen, levittyvyyden ja biohajoavuuden ansiosta. HPMC voisi toimia tehokkaasti lisäaineena yhdistettynä luonnonvahoihin tai bioestereihin.

Myös soijavahan ja bioesterin yhdistelmä vaikuttaa kiinnostavalta vaihtoehdolta. Soijavaha muodostaa joustavan pintakalvon, kun taas bioesteri parantaa levittyvyyttä, voitelukykyä ja kosteudenkestoa. Yhdistelmä voisi soveltua hyvin monimuotoisille 3D-tulostetuille muottipinnoille, joissa vaaditaan hyvää irrotettavuutta ja tasaista pinnanlaatua.

Kokonaisuutena bioesterien, luonnonvahojen ja selluloosajohdannaisien yhdistelmät muodostavat lupaavan lähtökohdan ympäristöystävällisten muotiniirrotusaineiden kehittämiseksi 3D-tulostettuihin betonimuotteihin. Näiden materiaalien avulla voidaan arvioida irrotettavuutta, pinnanlaatua, levittyvyyttä sekä kulutuskestävyyttä useissa valusykleissä. Erityisesti bioesterien ja luonnonvahojen yhdistelmät voivat tarjota tasapainon hyvän voitelukyvyn ja mekaanisen kestävyyden välillä, kun taas selluloosapohjaiset järjestelmät tukevat vesipohjaista ja vähäpäästöistä lähestymistapaa.



LÄHTEET

Ammar, O., El-Eswed, B. & Alshaaer, M. 2023. *Applications of biodegradable carboxymethyl cellulose-based composites*. Results in Materials, 17, 100481.

Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. E. & Tsuji, H. Toim. 2010. *Poly(lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Averous, L. & Halley, P. J. 2009. *Biocomposites are based on plasticized starch*. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 3(3), 329–343. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/bbb.135> [viitattu 20.5.2026].

Averous, L. & Boquillon, N. 2004. *Biocomposites based on plasticized starch: Thermal and mechanical behaviours*. Carbohydrate Polymers, 56(2), 111–122. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.11.01> [viitattu 15.5.2026].

Bart, J. C. J., Gucciardi, E. & Cavallaro, S. 2013. *Industrial bio-based lubricants and greases: production, properties, and applications*. Cambridge, UK; Philadelphia, PA: Woodhead Publishing. [viitattu 15.5.2026].

Bhandari, P. 2025. *Carboxymethyl cellulose: Past innovations, present applications, and future horizons*. Results in Chemistry, 17, 102534.

Biermann, U., Bornscheuer, U., Meier, M. A. R., Metzger, J. O. & Schäfer, H. J. 2017. Oils and fats as renewable raw materials in chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(48), 12488–12598. [viitattu 15.5.2026].

Brumaud, C., Baumann, R., Schmitz, M., Radler, M. & Roussel, N. 2013. *Cellulose ethers and water retention*. Cement and Concrete Research, 53, 176–184. PDF-tiedosto. Saatavissa: [Cellulose ethers and water retention | Request PDF](#) [viitattu 22.5.2026].

Cargill (a.s.). *Mold release polymer additives*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cargill.com/bioindustrial/polymer-additives/mold-release> [viitattu 15.5.2026].

ChemicalBook. 2022. *Properties and Uses of Hydroxyethyl Cellulose*. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.chemicalbook.com/article/properties-and-uses-of-hydroxyethyl-cellulose.htm> [viitattu 18.5.2026].

Chem-Trend (a.s.). *What are the advantages and disadvantages of each type of release agent?* WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://chemtrend.com/faq/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-each-type-of-release-agent/> [viitattu 15.5.2026].



Doan, C. D., Tavernier, I., Okuro, P. K., Dewettinck, K., & Patel, A. R. (2018). *Internal and external factors affecting the crystallization, gelation, and applicability of wax-based oleogels in food industry*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 42–52. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.009> [viitattu 19.5.2026].

Euclid Chemical. 2023. *Form Release Agents for Concrete Applications*. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.euclidchemical.com [viitattu 19.5.2026].

Functional Products. 2026. *Functional CMR-1001*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://products.omya.com/products/functional-cmr-1001?utm_so [viitattu 19.5.2026].

Fox, C. 2022. *Natural waxes in industrial coatings and release applications*. *Journal of Coatings Technology*, 14(2), 45–53.

Good Start Packaging s.a. *What is PLA | A Comprehensive Guide to Polylactic Acid*. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://www.goods-tartpackaging.com/guide-to-pla-polylactic-acid/> [viitattu 20.5.2026].

GlobalSpec. 2024. *Mold Releases and Release Agents Overview*. Saatavissa: https://www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/industrial_oils_fluids/mold_releases_release_agents [viitattu 18.5.2026].

Hernández, M. L., Castaneda, M., & Martínez-Force, E. (2021). *Sunflower waxes: Extraction, characterization, and applications in bio-based materials*. *Industrial Crops and Products*, 171, 113938. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113938> [viitattu 19.5.2026].

Hydroxypropyl Methylcellulose Factory. 2025. *HPMC's environmental advantages in the construction industry*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hpmcfactory.com/products/hpmc-environmental-advantages-in-the-construction-industry.htm> [viitattu 20.5.2026].

KIMA Chemical s.a. *What is hydroxyethyl cellulose (HEC)?* WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kimacellulose.com/what-is-hydroxyethyl-cellulose-hec.html> [viitattu 20.5.2025].

Kao Corporation. 2024. *LUNAFLOW, a Water-based Mold Release Agent that Maintains a Slippery Surface*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kao.com/global/en/newsroom/news/release/2024/20240426-001/> [viitattu 19.5.2026].

Khayat, K. H. 1998. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials — An overview. *Cement and Concrete Composites*, 20(2–3), 171–188.



WWW-dokumentti. Saatavissa: [Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials — An overview - ScienceDirect](#) [viitattu 26.5.2025].

Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.-P. & Bohn, A. 2018. *Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material*. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358–3393.

Koller, M. 2018. *Biodegradable and biocompatible polyhydroxy-alkanoates (PHA): Auspicious microbial macromolecules for pharmaceutical and therapeutic applications*. *Molecules*, 23(2), 362. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/molecules23020362> [viitattu 20.5.2026].

Kończak, B., Uszok, E., Białowąs, M., Wiesner-Sękała, M., Zawartka, P., Klus, M., & Klus, L. (2026). *Biodegradation of hydrophobic coatings based on natural wax and its mixtures*. *Sustainability*, 18(1), 509. Saatavissa:

LXBIO. 2024. *The production process of PLA resin: How PLA is made?* Saatavissa: <https://www.lxbiotechnology.com/the-production-process-of-pla-resin-how-pla-is-made/> [viitattu 15.5.2026].

Mitra, R., Xu, T., Xiang, H. & Han, J. 2022. *Current developments on polyhydroxyalkanoates synthesis by using renewable resources and applications as sustainable bioplastics*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 207, 631–640. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.149>
Muller, J., González-Martínez, C. & Chiralt, A. 2017. *Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging*. *Materials*, 10(8), 952. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/ma10080952> [viitattu 20.5.2025].

Oprea, S. 2016. Polyurethane materials and their applications in industry. *Materials Science Forum*, 890, 3–10. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.890.3> [viitattu 15.5.2026].

Oprea, S. 2016. *Polyurethane Materials and Release Technologies*. Boca Raton, FL: CRC Press. [viitattu 18.5.2026].

Patel, S., & Goyal, A. (2015). *Applications of natural polymer gum arabic: A review*. *International Journal of Food Properties*, 18(5), 986–998. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.809541> [viitattu 19.5.2026].

Patural, L., Marchal, P., Govin, A., Grosseau, P., Ruot, B. & Devès, O. 2011. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars. *Cement and Concrete Research*, 41(1), 46–55. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars](#) [viitattu 18.5.2026].



Penconek, A., Kozłowski, M. & Jakubiak, S. 2024. Combining Solution-Blowing and Melt-Blowing Techniques to Produce Polylactic Acid Nonwovens. *Processes*, 12(5), 857. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2227-9717/12/5/857> [Viitattu 18.5.2026].

Pourchez, J., Peschard, A., Grosseau, P., Guyonnet, R., Guilhot, B. & Vallée, F. 2006. HPMC and HEMC influence on cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 36(2), 288–294. WWW-dokumentti. Saatavissa: [HPMC and HEMC influence on cement hydration](#) [Viitattu 18.5.2026].

Rahman, M., Islam, M. & Alam, M. 2020. *Applications of carboxymethyl cellulose in industrial products*. Journal of Applied Polymer Science, 137(18), 48654. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/app.52802> [Viitattu 25.5.2026].

Ramachandran, V. S. 1995. *Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology*. 2nd ed. Noyes Publications.

Rowe, R.C., Sheskey, P.J. & Quinn, M.E. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. 6. painos. London: Pharmaceutical Press.

Sharma, B. K. & Singh, R. K. 2018. Bio-based lubricants: Environmental benefits and industrial applications. *Tribology International*, 123, 27–40. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315158150-24/modified-vegetable-oils-environmentally-friendly-lubricant-applications-brajendra-sharma-gobinda-karmakar-sevim-erhan> [viitattu 15.5.2026].

Sharma, B.K., Karmakar, G. & Erhan, S.Z. 2020. *Modified Vegetable Oils for Environmentally Friendly Lubricant Applications*. Teoksessa: Rudnick, L.R. *Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1201/9781315158150-24> [viitattu 15.5.2026].

ScienceDirect. s.a. *Mold Release Agent – an overview*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/mold-release-agent> [viitattu 19.5.2026].

Shen, Z. ym. 2023. *Cellulose-Based Functional Materials and Their Industrial Applications*. Saatavilla:

Singh, A. & Verma, P. 2019. *Industrial applications of release agents and surface coatings*. Surface Engineering, 35(8), 623–635.

Sunbelt Lubricants. 2026. *Industrial Oils – Concrete Products*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://products.omya.com/products/functional-cmr-1001?utm_source=chatgpt.com [viitattu 20.5.2026].



Tharanathan, R.N. 2003. *Biodegradable films and composite coatings: Past, present, and future*. Trends in Food Science & Technology, 14(3), 71–78. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-1) [viitattu 210.5.2026].

TER Chemicals. 2025. *Montan Wax*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.terchemicals.com/en/?utm_source [viitattu 18.2026].

TotalEnergies Corbion. 2024. Luminy PLA: Sustainable sourcing. WWW-dokumentti. Saatavissa: totalenergies-corbion.com [Viitattu 18.5.2026].

Laftah, W. A. & Wan Abdul Rahman, W. A. (2021). *Rice waste-based polymer composites for packaging applications: A review*. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S1621–S1629. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/09673911211046775> [viitattu 20.5.2026].

Liu, Y., Wang, S. & Zhang, H. 2021. *Carboxymethyl cellulose-based materials and their applications*. International Journal of Biological Macromolecules, 182, 179–191.

Vähäkangas, T. 2021. Polylaktidimuovi ekstruusiassa. Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/136656/V%E4h%E4kangasTuomas.pdf;jsessionid=7EB40EFCBFC77D146324F1EE492E77CD?sequence=2> [Viitattu 18.5.2026].

Wang, X., Wang, J. & Liu, Y. 2023. Polylactic Acid (PLA) Melt-Blown Nonwovens with Superior Mechanical Properties via Controlling Airflow and Molecular Weight. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(11), 4520–4530. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs-suschemeng.3c00159?utm> [Viitattu 18.5.2026].

Wypych, G. 2021. *Handbook of Material Weathering*. 6. painos. Toronto: ChemTec Publishing.

Wypych, G., 2021. *Handbook of Release Agents*. 3rd ed. Toronto: ChemTec Publishing.

Wolfmeier, U., Schmidt, H., Heinrichs, F.-L., Michalczyk, G., Payer, W., Dietzsche, W., Böhlke, K., Hohner, G., & Wildgruber, J. 2005. *Waxes*. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. Saatavissa: https://doi.org/10.1002/14356007.a28_103 [viitattu 19.5.2026].

Zhang, Y., Wang, T., Toghiani, H., & Servinis, L. 2019. *Coating performance and rheological characteristics of novel soybean oil-based wax emulsions*. *Industrial Crops and Products*, 140, 111654. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111654> [viitattu 19.5.2026].



Zhang, H., Su, S., Liu, S., Qiao, C., Wang, E., Chen, H., Zhang, C., Yang, X., & Li, T. 2023. *Effects of chitosan and cellulose derivatives on sodium carboxymethyl cellulose-based films: A study of rheological properties of film-forming solutions*. *Molecules*, 28(13), 5211. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/molecules28135211>

Zhong, Y. & Li, Y. 2013. *The properties of antimicrobial films derived from poly (lactic acid)/starch/chitosan blended matrix*. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 959–966. Verkkodokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.004> [viitattu 20.5.2026].



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Etelä-Savon
maakuntaliitto**



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Liite 1. Kuvaluettelo ja Taulukkuasettelo

Kuvaluettelo

Kuva 2. Biopohjaisten muotiniirrotusaineiden pääryhmät, ominaisuudet ja käyttökohteet verrattuna perinteisiin fossiilipohjaisiin irrotusaineisiin. Katja Putkonen, ChatGPT/DALL·E 2026.

Taulukkuasettelo

Taulukko 1. Kasviöljyjen ja bioestereiden ominaisuuksien vertailu muotiniirrotuksen näkökulmasta. Taulukko esittää keskeiset fysikaaliset ja funktionaaliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen biopohjaisina irrotusaineina. Katja Putkonen

Taulukko 2. Yleisimpien luonnon- ja mineraalivahojen ominaisuuksien vertailu muotiniirrotussovelluksissa. Taulukossa esitetään keskeiset fysikaaliset ominaisuudet (viskositeetti, lämmönkesto), funktionaaliset ominaisuudet (kalvonmuodostus, hydrofobisuus) sekä käytännön soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät. Katja Putkonen

Taulukko 3. Yleisimpien selluloosapohjaisten polymeerien (selluloosaeetterien) ominaisuuksien vertailu. Taulukossa esitetään keskeiset fysikaaliset ja funktionaaliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen mm. pinnoitteissa ja mahdollisissa muotiniirrotussovelluksissa. Katja Putkonen

Taulukko 4. Täikkelyspohjaisten biopolymeerien ominaisuuksien vertailu muotiniirrotussovellusten näkökulmasta. Taulukossa on esitetty keskeiset fysikaaliset ominaisuudet, kalvonmuodostuskyky ja vedenhylkivyyys. Katja Putkonen



Liite 2. Biopohjaiset muotinirrotusaineet verrattuna perinteisiin fossiilipohjaisiin irrotusaineisiin.

