

BIOPOHJAISET KUIDUT



BIOPOLYMEERIEN JAOTTELU



KUIDUT BIOPOHJAISISTA SYNTETISOIDUISTA POLYMEEREISTA



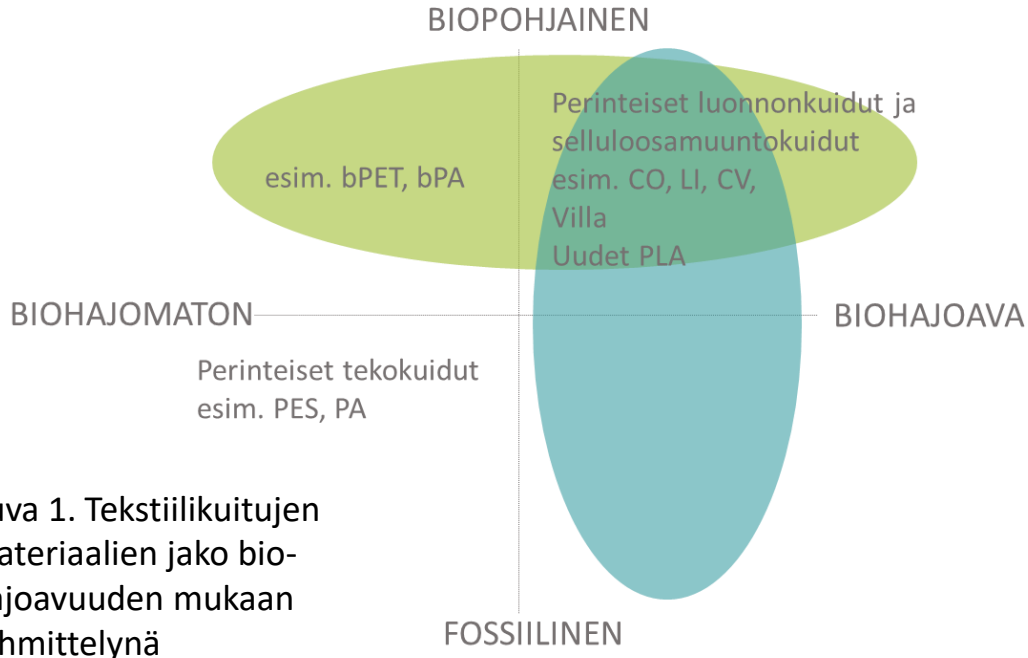
KASVI- JA SELLULOOSAPOHAJAISET KUIDUT



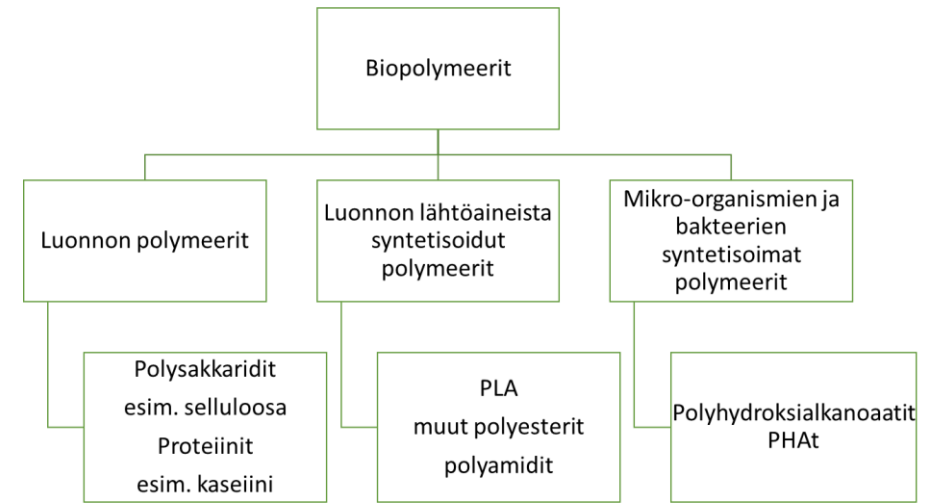
ELÄIMISTÄ SAATVAT JA PROTEIINIKUIDUT

BIOPOLYMEERIEN JAOTTELU

Tekstiilikuidut voidaan luokitella luonnonkuituihin ja tekokuituihin. Luonnonkuitujen raaka-aineet ovat biopohjaisia ja biohajoavia. Tekokuidut voidaan edelleen jakaa selluloosamuuntokuituihin ja synteettisiin tekokuituihin. Synteettisten tekokuitujen raaka-aine on fossiilinen ja ne eivät ole biohajoavia. Perinteisille fossiilisille raaka-aineille on etsitty korvaavia biopohjaisia lähtöaineita, esimerkiksi polyesteri voidaan öljyn sijasta valmistaa kasvipohjaisista raaka-ainesta. Tällöin syntyvä polyesteri on bio-polyesteriä (bPET), mutta se ei kuitenkaan ole biohajoavaa. Kuva 1. Toinen tapa luokitella biopolymeerit on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 1. Tekstiilikuitujen materiaalien jako biohajoavuuden mukaan ryhmittelynä



Kuva 2. Toinen tapa luokitella biopolymeerit

Biohajoava ei tarkoita samaa kuin kompostoitava. Kompostoitava materiaali hajoaa tietyissä olosuhteissa tietyn ajan kuluessa. Esimerkiksi puuvilla ja selluloosamuuntokuidut ovat biohajoavia eli ne hajoavat luonnossa. Ne eivät kuitenkaan hajoa riittävän nopeasti ollakseen kompostoituvia. Tekstiilituotteille kompostoitavuus ei useinkaan ole samalla tavoin tärkeä ominaisuus kuin esimerkiksi kertakäyttöisille pakkauksille. Kertakäyttöisistä kuitukangastuotteista löytyy myös kompostoitavia tuotteita (esim. teepussit, suodattimet, pyyhintätuotteet).



BIPOHJAISET
TEKOKUIDUT



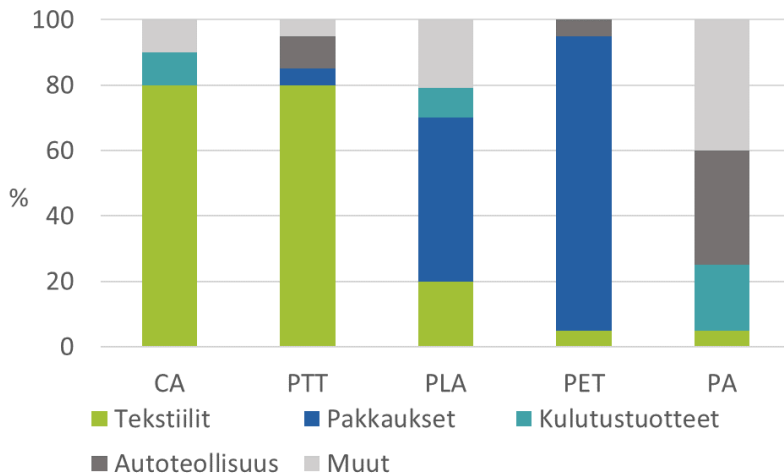
BIOMASSASTA
KUIDUKSI –
PLA JA PA



BAKTEERIEN
BIOPOLYMEERIT -
PHA

BIPOHJAISET POLYMEERIT

Biopohjaisten polymeerien tuotantomäärä oli 4.6 miljoonaa tonnia vuonna 2017. Selkeästi suurin käyttöalue olivat erilaiset pakkaukset (58%). Seuraavaksi suurimmat käyttöalueet ovat tekstiilit, kuluttajatuotteet ja autoteollisuus, joiden yhteenlaskettu osuus on noin 25% kokonaistuotantomäärästä.



Kuva 3. Viisi biopolymeeriä, joista valmistetaan myös tekstiilikuituja ja näiden polymeerien eri käyttökohteet. (TFY 2018)

Tekstiilikuituja valmistettiin viidestä eri biopolymeeristä ja näiden polymeerien käyttökohteet on esitetty Kuvassa 3.

Selluloosa-asetaatista (CA) valmistetaan lähinnä savukkeiden filttäreitä, mutta myös tekstiilejä, polytrimetyleeni-terfetaalista (PTT) mattoja, polylaktidista (PLA) hygieniatuotteita kuten vaippoja ja pyyhintäliinoja, mutta myös neuloksia ja edelleen t-paitoja, biopolyeteenitereftalaatista (bPET) ja biopolyamidista (bPA) valmistetaan sekä teknisiä että vaatetustekstiilejä. (TFY 2018).

Selluloosa-asetaatin raaka-aine on kemiallisesti muokattu selluloosa ja sen kuidutus tekstiilikuiduiksi on ollut tunnettua jo 1920-luvulta.



Yleisesti biopohjaisten polymeerien ympäristöhyödyistä suurin on siirtyminen fossiilisesta raaka-aineesta uusiutuviin raaka-aineisiin. Lisäksi useissa tutkimuksissa on ositettu, että biopolymeereillä pystytään vähentämään kasvihuonekaasujen määrää sekä ehkäisemään fossiilisen raaka-aineen ehtymistä, kun verrataan fossiilisesta raaka-aineesta valmistettuun verrokkiin. Biopolymeerien raaka-aineen viljelyn ja muuntamisen biopolymeerin raaka-aineeksi ympäristövaikutukset ovat suuremmat kuin fossiilisella verrokillä useissa muita ympäristövaikutuksia arvioivissa luokissa. Esimerkiksi raaka-aineen viljelyssä käytetyt lannoitteet ja torjunta-aineet nostavat happamoitumisen ja rehevöitymisen negatiivisia ympäristövaikutuksia.

KAUPALLISET BIPOHJAISET TEKOKUIDUT - BIOSYNTHETICS

Biopohjaiset tekokuidut (biosynthetic fibres) valmistetaan joko osittain tai täysin biopohjaisista raaka-aineista. Perinteiset tekokuidut, kuten polyesteri, polyamidi ja akryyli, valmistetaan fossiilisista raaka-aineista (esim. öljy, maakaasu). Kaupallisesti saatavilla olevat biopohjaiset tekokuidut on valmistettu viljelykasveista (esim. massi, risiinipapu) saatavista raaka-ainesta kuten tärkkelyksestä ja risiiniöljystä.

Tekstiiliteollisuuden siirtyminen fossiilisista raaka-aineista biopohjaisiin on alkuvaiheessa. Tällä hetkellä kaupalliset biopohjaiset tekokuidut ovat joko polyesteriä tai polyamideja, Taulukko 1.

Biomassa prosessoidaan ensin esim. sokereiksi, jotka fermentoidaan halutuiksi monomeereiksi. Monomeerit polymeroidaan polymeeriketjuiksi.

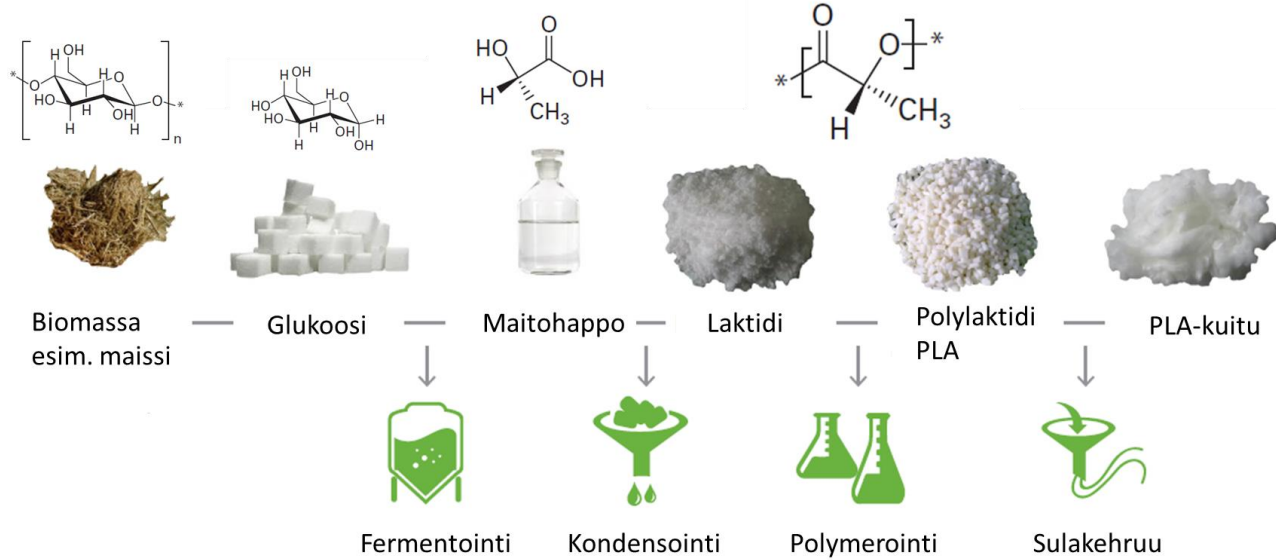
Taulukko 1. Kaupallisia biopohjaisia tekokuituja (muokattu Biosynthetics, 2018)

	Biopolymeeri	Tuote	Raaka-aine	Tuottaja
Biopolyesterit	bPTT	filamenttikuitu		Far Eastern
	bPLA, Inego	katkokuitu	maissi ym.	Far Eastern
	bPLA, Inego	katkokuitu	maissi ym.	Palmetto
	bPLA	lanka		RadiciGroup
	bPET, Ecodear	filamenttikuitu		Toray
	bPLA, Ecodear	filamenttikuitu	maissi	Toray
	bPTT, Ecodear	kangas	maissi	Toray
Biopolyamidit	bPA10.10 Evo	filamenttikuitu	risiinipapu	Fulgar
	bPA6.10, Radilon (64% bio)	lanka	risiiniöljy	RadiciGroup
	bPA5.10 Biofeel	lanka	risiiniöljy	RadiciGroup
	bPA6.10 Dorix 6.10 (64% bio)	katkokuitu	risiiniöljy	RadiciGroup
	bPA 6.10 Ecodear	filamenttikuitu	risiiniöljy + maaöljy	Toray

Polyesteriä voidaan polymeroida esimerkiksi polykondensaatio-polymeroinilla (dihappo, hydroksihappo tai anhydridi ja sekundaarinen alkoholi) tai renkaanavauspolymeroinnilla (laktoni-renkaan avaus).

Biomassasta prosessoituja aineita tai esim. metaania voidaan käyttää bakteerien ravintona, jolloin bakteerit polymeroivat omassa aineenvaihdunnassa polymeerejä; tästä esimerkkinä PHA.

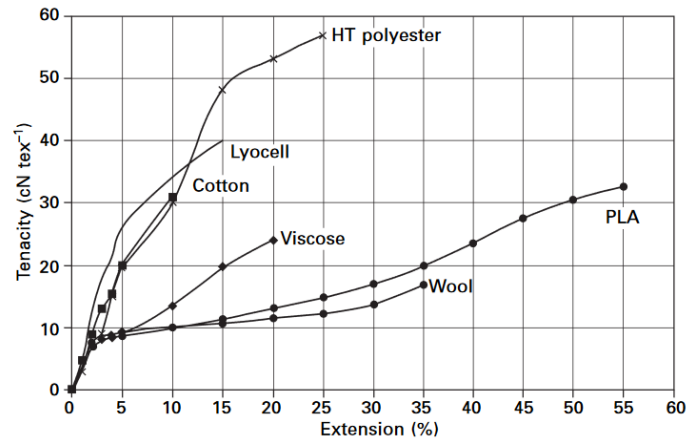
PLA



Kuva 4. PLA:n valmistus biomassasta kuiduksi (muokattu Biosynthetics, 2018)

KUIDUN OMINAISUUDET

PLA kuidut soveltuvat hyvin tekstiili-
tuotteiden valmistukseen, Kuva 5. PLA
kuiduilla on synteettisten tekokuitujen
tapaan alhainen kosteuden imukyky ja
niiden pintarakenne on sileä. PLA on
biohajoava.



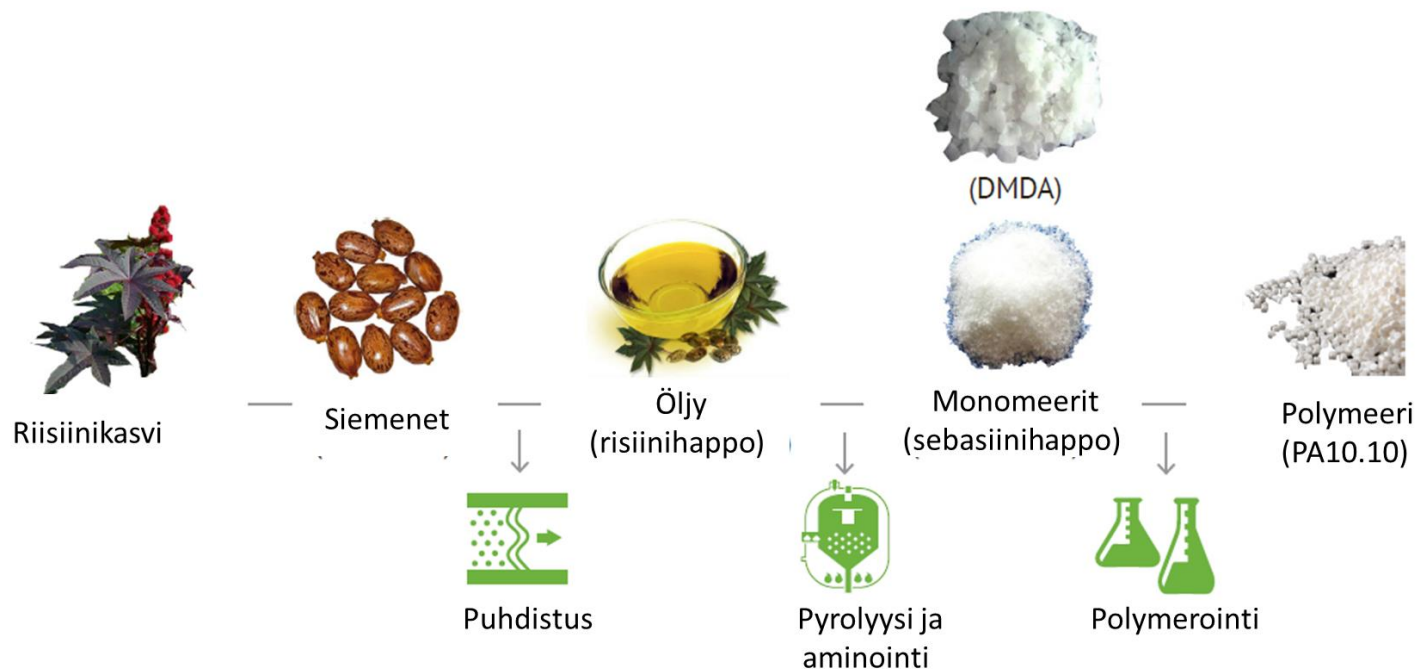
Kuva 5. PLA:n kuidun lujuus verrattuna
muihin tekstiilikuituihin (Technical bulletin 2005)

PLA polymeeri tuotetaan fermentoimalla glukoosi
maitohappomonomeereiksi ja edelleen polymeroimalla
monomeerit polylaktidiksi. Polylaktidi voidaan sulakehrätä
PLA-kuiduiksi. Glukoosin lähteenä kaupallisissa PLA-
laaduissa on yleisimmin maissitärkkelys. Raaka-aineeksi
soveltuvat myös muut tärkkelyspitiset kasvit kuten esim.
riisi, sokerijuurikas, vehnä ja bataatti.

KIERRÄTYS

PLA pystytään tunnistamaan kemiallisen
rakenteen perusteella esim. NIR-
teknologialla. PLA:lle on kokeellisesti
todennettuja kierrätysvaihtoehtoja. PLA
voidaan uudelleen sulatyöstää esim.
komposiitiksi, mutta ei tiedetä onnistuuko
uudelleen sulatetun PLA:n sulakehräys
tekstiilikuiduksi. PLA:lle on myös kehitetty
kemiallisia kierrätys-menetelmiä. (Badia
2016) Tällä hetkellä PLA-tekstiilejä
valmistetaan niin vähän, ettei niille ole
rakennettu omaa lajitteluluokkaa vaan jos
sellainen tekstiilikeräykseen osuisi, se
menisi todennäköisesti sekajakeeseen.

BIOPOLYAMIDIT



Kuva 6. PA 10.10:n valmistus biomassasta kuiduksi (muokattu Biosynthetics, 2018)

Kaupalliset biopohjaiset polyamidit valmistetaan riisiinikasvista, josta saavan risiiniöljyn risiinihappopitoisuus on korkea. Tällaista alifaattista risiinihappoa ei löydy muista kasviöljyistä. Sebasiini ja undekeenihappo ovat risiinihaposta saatavat polyamidien lähtöaineet.

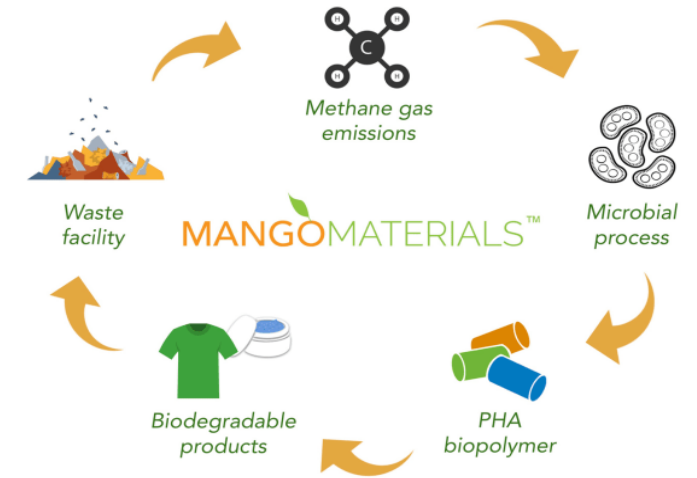
Biopolyamidien ryhmään kuuluu monia polyamideja, esim. bPA6.10, bPA10.10 ja bPA11. Kuvassa on esitetty bPA10.10 valmistusprosessi. Risiiniöljy prosessoidaan sebasiinihapoksi ja dekametyleeni diaminiksi (DMDA), jotka polymeroidaan polyamidiksi, PA10.10.

Biopolyamidi ei ole biohajoava. Biopolyamidi voidaan kierrättää samoilla menetelmillä kuin öljypohjainen polyamidi. Kaupallisesti polyamidia kierrättävät ainakin Patagonia (www.patagonia.com/recycled-nylon.html), joka kerää omia tuotteita ja prosessoi ne uudelleen sulattamalla, sekä Econyl (www.econyl.com/) ja Renycle (<https://www.radicigroup.com/en/products/fibres-and-nw/polyamide-pa6-renycle>), jotka käyttää kemiallista kierrätysmenetelmää. Kemiallisessa kierrätyksessä polyamidi polymeeriketju pilkotaan ja polymeroidaan uudelleen.

Polyhydroksialkanoaatit (PHAt) ovat polyestereihin kuuluva ryhmä biopolymeerejä, joita luonnossa tuottavat useat mikro-organismit fermentoimalla lipidejä tai sokereita. Useat bakteerit keräävät PHA:ta polymeereinä solunsisäiseksi hiili- ja energiavarastoiksi, joita ne käyttävät vaihtoehtoisena aineenvaihdunnan energialähteenä. PHA:n tuottamiseksi bakteeriviljelmän ravintoainekoostumusta muutetaan niin, että bakteerit alkavat syntetisoida PHA:ta. PHA:n saanto voi olla jopa 80% organismin kuivapainosta. Mikro-organismiskanta ja viljelyolosuhteet määräävät millaisia hydroksialkaanihappoja bakteeri tuottaa ja edelleen millaisen polyesterin bakteeri syntetisoi. Taulukkoon on koottu tällä hetkellä tiedossa olevia PHA:n kaupallisia tuottajia (yleensä muoviteollisuuden raaka-aineeksi) (Kourmentza 2017).

Polymeeri Kauppanimi Yritys	Ravintolähde/ Biokatalyytti
PHA Biomatera Biomatera, Kanada	Biomassa/ Bakteeri
PHB Biomer® Biomer, Saksa	Sokeri
PHA-minerv®, PHB, PHBV Bio-On Srl, Italia	Sokerijuurikas/ <i>Cupriavidus necator</i>
PHBVHHx, PHV, P3HP3HB Blue PHA, Kiina	/ Synteettisiä bakteereja
mcl-PHA Nodax® Danimer Scientific, USA	Kylmäpuristettu rypsiöljy
PHA AirCarbon™ Newlight Tech. LLC, USA	Jätelaitoksen sivuvirta/ Newlight's 9X biokatalyytti
PHB, PHBV BIOCYCLE® PHB Industries S.A, Brasilia	Sakkaroosi/ <i>Alcaligenes sp.</i>
mcl-PHA VersaMer™ PolyFerm, Kanada	Sokerit, kasviöljyt/ Luonnon mikro-organismit
PHA AmBio® Senzhen E. Biotech. Co. Ltd, Kiina	Sokerit ja glukoosi
PHA SIRIM Bioplast. Pilot Plant, Malesia	Palmuöljyjäte, palmuöljy
PHB, PHBV ENEMAT™ TianAn Biol. Mat. Co. Ltd, Kiina	Dekstroosi / <i>Ralstonia eutropha</i>
P(3,4HB) Sogreen® Tianjin GreenBio Mat. Co., Kiina	Sokeri

PHB, P3HB: poly(3-hydroksibutyraatti); PHBV: poly(3-hydroksybutyraatti-ko-3-hydroksyvaleriaatti); PHBVHHx: poly(3-hydroksibutyraatti-ko-3-hydroksyvaleriaatti-ko-3-hydroksyheksnoaatti); PHV: poly(3-hydroksyvaleriaatti); P3HP3HB: poly(3-hydroksipropionaatti-ko-3-hydroksibutyraatti); P3(4)HP: poly(3(4)-hydroksipropionaatti); mcl-PHA: meduim-chain length PHA; P(3,4HB): poly(3-hydroksibutyraatti-ko-4-hydroksibutyraatti)



Kuva 7. MangoMaterials:n PHA:n tuotanto www.fastcompany.com/40476430/the-shirt-of-the-future-is-made-from-polyester-thats-been-created-by-methane-eating-bacteria

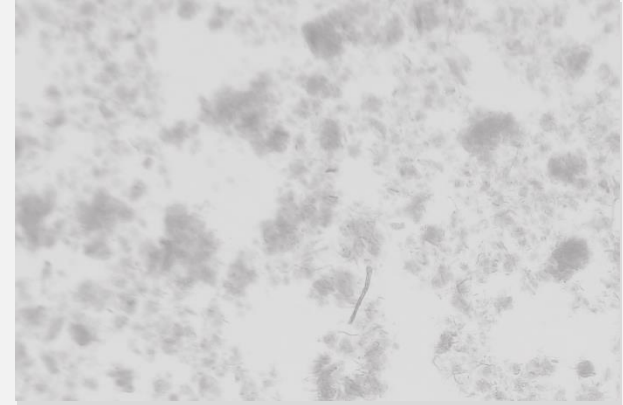
Tutkimusasteella on prosesseja, joissa bakteerien ravintolähteenä käytetään erilaisia jätevirtoja, esim. erilaisia jätelietteitä. MangoMaterials on julkaissut uutisen, jossa kerrotaan pilottimittakaavan koelaitoksen rakentamisesta. Prosessissa käytetään bakteerien ravintolähteenä jätelaitoksessa syntyvää metaanikaasua. Tavoitteena on käyttää syntyvä PHA tekstiilikuidun raaka-aineena (Kuva 7).



SELLULOOSA-
POHJAISET
LUONNONKUIDUT



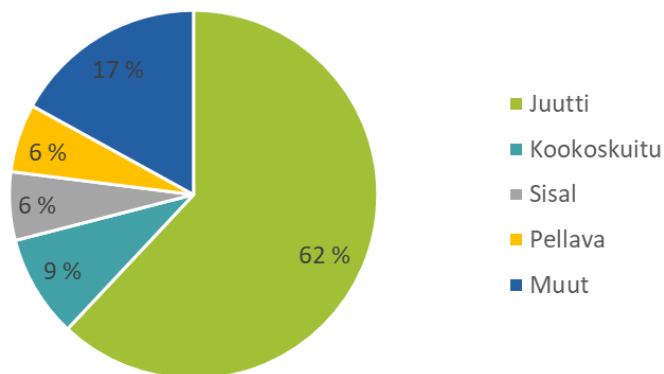
SELLULOOSA-
MUUNTOKUIDUT



NANOSELLULOOSA-
POHJAISET

LUONNONKUIDUT

Luonnonkuiduista suurin tuotantomäärä on puuvillalla, jonka tuotanto oli 25.4 miljoonaa tonnia (MT) vuonna 2017. Puuvillan lisäksi tuotetaan jonkin verran (5 MT) muita selluloosapohjaisia luonnonkuituja, Kuva 8. Luokkaan muut kuidut kuuluvat manilla, rami, hamppu ja kapokki (TFY 2018). Usein näiden luonnonkuitujen hienous määrää kuidulle soveltuvan käyttökohteen. Esimerkiksi sisal-kuidut ovat usein karkeita ja niistä tehdään esim. mattoja. Toisaalta esim. pellavakuidut ovat



Kuva 8. Selluloosapohjaisten luonnonkuitujen tuotanto ilman puuvillaa vuonna 2017 (TFY 2018)

hienoudeltaan sellaisia, että ne soveltuvat hyvin myös ihokosketuksessa oleviin tuotteisiin.

Puuvilla on siemenkuitu eli se voidaan kerätä kasvista suoraan kuitumuodossa. Tällaisia tekstiiliprosesseihin soveltuvia siemenkuituja ei ole löydetty lisää. Uudet selluloosapohjaiset luonnonkuidut ovat runko- tai lehtikuituja eli kuidut on erotettava kasvista. Tässä on esimerkkinä bambukuidut, mutta tällaisia uusia selluloosapohjaisia kuituja ovat esimerkiksi myös ananaksenlehtikuitu ja banaanikuitu.

BAMBUKUIDUT

Bambukuidut erotetaan bambukasvin rungosta mekaanisesti ja entsyymien avulla. Prosessina se muistuttaa lähinnä pellavakuidun erotusta pellavakasvista (Nyak 2016). On huomioitava, että bambusta voidaan prosessoida myös selluloosamuuntokuituja. Kun puhutaan

bambukuidusta tarkoitetaan nimenomaa näitä suoraan kasvin varresta erotettuja kuituja. Bambukuidulla on mikroskoopilla tunnistettava morfologia ja bambukuidun poikkileikkaus on esitetty Kuvassa 9.



Kuva 9. Mikroskooppikuva bambukuidun poikkileikkauksesta ja kuitutouvit luonnovärisestä ja valkaistusta bambukuidusta (Nyak 2016)

Bambukuidut ovat 70 – 150 mm pitkiä, melko ohuita ja niiden hienous on sellainen, että ne soveltuvat hyvin myös ihokosketuksessa oleviin tekstiileihin. Bambukuidulla saattaa olla myös antibakteeria ominaisuuksia, jos bambukasvin hartsia (bamboo kun) jää kuituihin.

NOKKOSKUIDUT

Nokkoskuidut ovat runkokuituja. Nokkoskuitu muistuttaa pellavaa ja hamppua. Nokkoskuidulla on korkea lujuus, mutta alhainen venymä, kuten monella muullakin kasvikuidulla. Nokkoskuitu on huokoisempaa kuin pellava tai hamppu ja siten sillä on suurempi veden absorptiokyky kuin muilla runkokuiduilla.



Kuva 10. Nokkoskuitu

<https://www.knokkon.fi/nokkonen-kuitukasvina/>

Nokkoskuitu erotetaan nokkosen rungosta mekaanisesti. Yleisesti sille tehdään ketoliuotus ja rohkinta. Kemiallisia prosesseja on tutkittu, mutta mekaaninen erotus on yleisin. Prosessina se muistuttaa lähinnä pellavakuidun erotusta pellavakasvista (Jeannin 2020).

Nokkoskuituja on käytetty tuhansia vuosia tekstiileissä, on löydetty yli 3000 vuotta vanhoja nokkostekstiilejä. Myös Euroopassa on viljelty kuitunokkosta. Synteettisten tekokuitujen markkinoille tulon myötä nokkoskuidun viljely ja käyttö tekstiilikuituna loppui.

Kuitunokkosen teollinen viljely ja nokkoskuidun tuotanto on aloitettu uudelleen myös Euroopassa, ainakin saksalainen NFC GMBH Nettle Fibre Company kasvattaa ja tuottaa nokkoskuituja. Suomestakin voi ostaa nokkoslankaa ja nokkoskuidusta tehtyjä tuotteita.



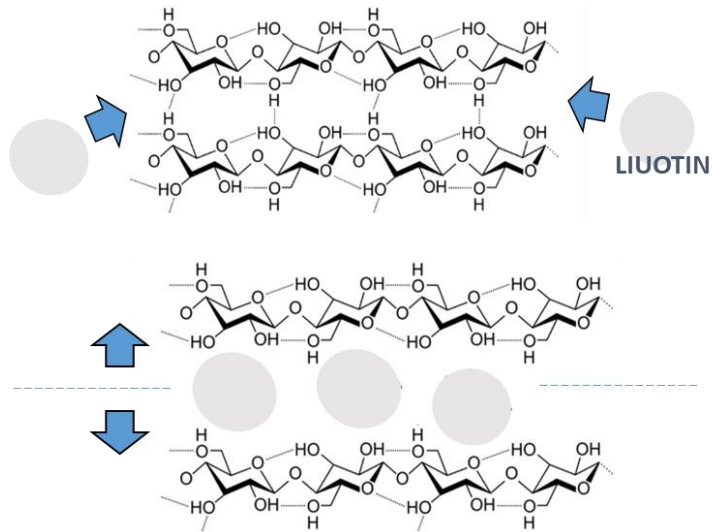
Kuva 11. Nokkonen <http://elontieto.com/nokkonen>

Nokkoslajeja on paljon ja esimerkiksi Euroopassa kuitunokkosta saadaan *Urtica dioica* L. nokkosesta, kuvassa. Kasvista saatavien kuitujen pituus on 39–63 mm. Esimerkiksi Himalajan nokkosella (*Girardinia diversifolia* L.) on pidemmät kuidut, jopa yli 400 mm. (Lanzilao 2016) Nokkonen on hieno kuitu, sen halkaisija vaihtelee 25 – 35 µm välillä, kun pellavan halkaisija on 40 – 80 µm. Nokkoskasvissa on kuitua vähän (noin 10%) verrattuna muihin runko-kuitukasveihin kuten pellavaan (20%) ja hamppuun (30%).

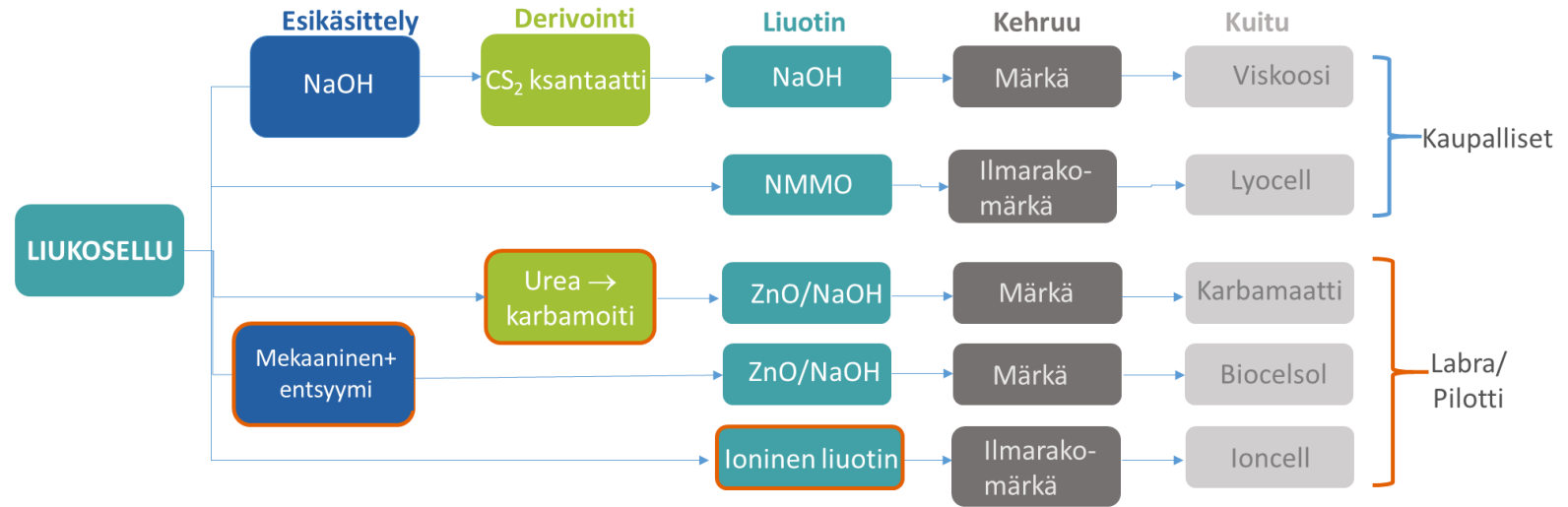
SELLULOOSAMUUNTOKUIDUT

Nykyisin kaupalliset selluloosa-muuntokuidut ovat viskoosi ja lyocell. Molemmista raaka-aineena on puusta saatava selluloosa eli liukosellu. Liukosellu liuotetaan ja regeneroidaan märkäkehruu- tai ilmarako-märkäkehruutekniikalla selluloosa-muuntokuiduiksi.

Oleellinen ero luonnonkuituihin on se, että selluloosa liuotetaan ja liuksesta saostetaan (regeneroidaan) kuituja. Erona biosynteettisiin



Kuva 12. Selluloosan liuotus molekyylitasolla



Kuva 13. Selluloosamuuntokuitujen valmistus. Oranssilla ympäröidyt laatikot merkkäävät kokeellisten prosessien uutuutta

polymeereihin on se että, liuotusvaiheessa säilytetään molekyyliketjujen pituus eikä ketjusta haluta pilkkoa glukoosia. Kuva 12.

Tutkimusasteella on paljon vaihtoehtoisia prosesseja valmistaa selluloosamuuntokuituja. Niissä prosesseissa, joissa

käytetään liukosellua raaka-aineena, uutuutena voidaan pitää joko sellun esikäsitteilyä, derivointia tai liuotinta. Kuvaan 13 on koottu yksinkertaista esimerkit tällaista uusista prosesseista ja miten ne eroavat nykyisistä kaupallisista sovelluksista.

Liukosellun sijaan selluloosamuuntokuidun raaka-aineena voidaan käyttää myös muita selluloosapohjaisia materiaaleja. Puuvillalintteri ja jätepuuvilla ovat selluloosaa puhtaimmassa muodossa mitä luonnosta löytyy. Jätepuuvillasta täytyy usein poistaa siihen sen käytön aikana lisättyjä aineita kuten esim. väriaineet tai silikaatit. Bambusta erotetaan selluloosa kuten puusta keitetään sellua. Samoin appelsiininkuorijätteestä erotetaan selluloosa omalla prosessilla. Eri prosessien taloudellisuuteen vaikuttaa se miten paljon hyödynnettävässä massassa on selluloosaa.

Nanollose käyttää bioteollisuuden ja maatalouden sivuvirtoja ja muuntaa ne bakteeriselluloosaksi. Bakteeriselluloosa on puhdasta selluloosaa ja se voidaan prosessoida liuotusprosessin kautta selluloosamuuntokuiduksi.

Usein näihin uusiin prosesseihin liittyvät keksinnöt, patentit ja innovatiivisuus liittyy raaka-aineen prosessointiin sellaiseen muotoon, että se voidaan prosessoida perinteisillä kuidunvalmistustekniikoilla selluloosamuuntokuiduiksi.

Taulukko 2. Selluloosamuuntokuitujen uusia raaka-aineita

Tuote	Raaka-aine	Uutuus	Tuottaja
Orange Fiber	Appelsiinin kuorijäte	Muu sivuvirta raaka-aineena - showcase vaatteiksi	Orange Fiber http://orangefiber.it/en/
Bambuviskoosi (Bamboo Rayon)	Bambu	Kaupallinen	
SaXcell	Puuvillajäte	Kehitysasteella	SaXcell https://saxcell.nl/?page_id=18
ReFibra	Puuvillajäte	Kaupallinen	ReFibra™ https://www.tencel.com/refibra
NyCycl	Puuvillajäte	Kehitysasteella - showcase esim. Adidaksen hupparissa	Evrnu NyCycl https://www.evrnu.com/nucycl
Bemberg	Puuvilla-lintteri	Kaupallinen	Bemberg https://www.asahi-kasei.co.jp/fibers/en/bemberg/
Ioncell	Puuselluloosa (puuvillajäte)	Uusi liuotin (ioninen neste)	Ioncell https://ioncell.fi/
Inifnited fibre technology	Puuvillajäte	Kokeiluasteella, kuidun kehruu pilotointi-mittakaavassa, selluloosan karbamointi	IFC https://inifnitedfiber.com/
re:newcell	Puuvillajäte	Kokeiluasteella	re:newcell https://renewcell.com/
Nanollose Nullabor™	Kookospähkinäjäte, bambu ym. sivuvirrat	Viskoosityyppinen prosessi, pilot	Nanollose https://nanollose.com/#validated

BAKTEERISELLULOOSA

Bakteeriselluloosa on bakteerien syntetisoimaa selluloosaa. *Acetobacter xylinum* bakteerin aineenvaihdunta tuottaa selluloosafibrillejä, jotka muodostavat nesteen pinnalla kelluvan kalvomaisen fibrilliverkoston.

Bakteeriselluloosakalvoja on tutkittu paljon erilaisissa terveydenhuollon sovelluksissa, esim. keinoihona palovammojen hoidossa. Myös filippiiniläinen elintarvike *nata de coco* on bakteeriselluloosaa. Bakteeriselluloosaa on myös hyödynnetty selluloosamuuntokuitujen raaka-aineena (ks. edellinen sivu).



Kuva 14. Nata de coco, bakteeri-selluloosakuutiot maustetaan yleensä sokerilla ja yhdistetään esim. hedelmäsalaattiin tai hilloon

NANOSELLULOOSAPOHJAISET TEKSTIILIT

Bakteeriselluloosaa voidaan kasvattaa muottien avulla erimuotoisiksi. Jooyoung Shinin tutkimusryhmä on julkaissut kokeen, missä bakteeriselluloosa on kasvatettu vaatteiden kaavojen muotoja vastaavissa muoteissa. (Shin 2018)



Kuva 15. Muotti ja muotissa kasvava bakteeriselluloosa (yllä) ja altaassa kasvan bakteeriselluloosan pakotus kaavan muotoon rajoittamalla kasvua pahvin avulla (alla). (Shin 2018)



Kuva 16. Bakteeriselluloosasta kasvatettu kauluspaita. (Shin 2018)

Bakteeriselluloosa kasvatettiin kauluspaidan kaavojen mukaan. Tällöin ei synny lainkaan leikkuujätettä. Eri kappaleet ommeltiin yhteen ja paita värjättiin. Bakteeriselluloosasta tehty paita kovettuu hieman kuivuessaan ja tämän estämiseksi kappaleet vahattiin kevyesti. Lopputuote muistutti ohutta nahkaa. (Shin 2018)

SPINNOVAN KUITU

Spinnova on suomalainen yritys, joka on kehittänyt uuden tavan kehrätä selluloosapohjaista kuitua. Prosessi on suojattu, se poikkeaa kuitenkin selluloosamuuntokuitujen valmistuksesta merkittävästi. Selluloosaa ei liuoteta eikä myöskään märkä- tai ilmarako-märkäkehrätä kuiduksi.

Raaka-aineena käytetään sellukuituja. Sellu käsitellään mekaanisesti niin että siitä saadaan mikrofibrilloitua selluloosaa (MFC). Mekaanisesti erotetussa MFC:ssa mikrofibrillit ovat usein joustavina



Kuva 17. Spinnova-kuidusta tehtyä lankaa.
<https://spinnova.com/our-method/fibre>

aggregaatteina ja yksittäisiä mikrofibrillejä on vähän. Ulkonäöltään MFC on usein valkoista juoksevaa geeliä.

Lyhyet MFC kuidut liitetään toisiinsa patentoidulla kehrumenetelmällä, josta saadaan pitkiä tekstiilikuituja. Spinnova on osoittanut kuitujen soveltuvuutta tekstiilituotteisiin ja heidän demogalleriastaan löytyy monta erilaista esimerkkiä mihin Spinnova-kuitu soveltuu.



Kuva 18. Kuidun valmistuksen prosessikuvaus.
<https://spinnova.com/our-method/technology>

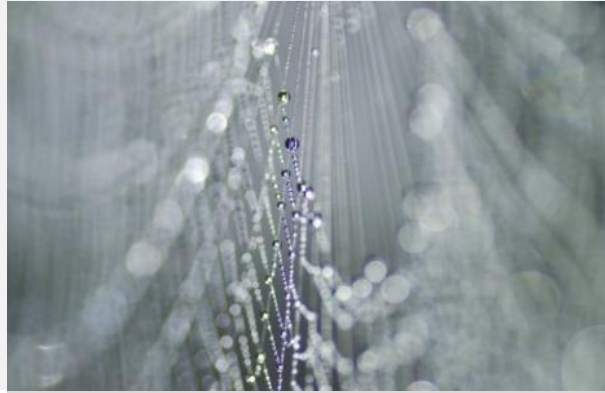
Mikrofibrilloitua selluloosaa voidaan valmistaa myös muista kasveista kuin puusta. Muita lähteitä voivat olla esim. vihannekset, sokerijuurikas tai hedelmistä saatava massa (esim. applesiinijäte). Eri lähteistä saavalla MFC:lla on erilaisia ominaisuuksia kuten polymeraatioaste ja kuidun pituus, jotka voivat vaikuttaa MFC:n ominaisuuksiin.

Spinnova on valmistanut omalla prosessillaan tekstiilikuituja ainakin vehnän oljesta tehdystä MFC:sta yhteistyössä Fortumin kanssa.

(<https://spinnova.com/archives/news/spinnova-and-fortum-present-the-worlds-first-waste-straw-based-clothes/>)



ELÄINTEN KARVAT



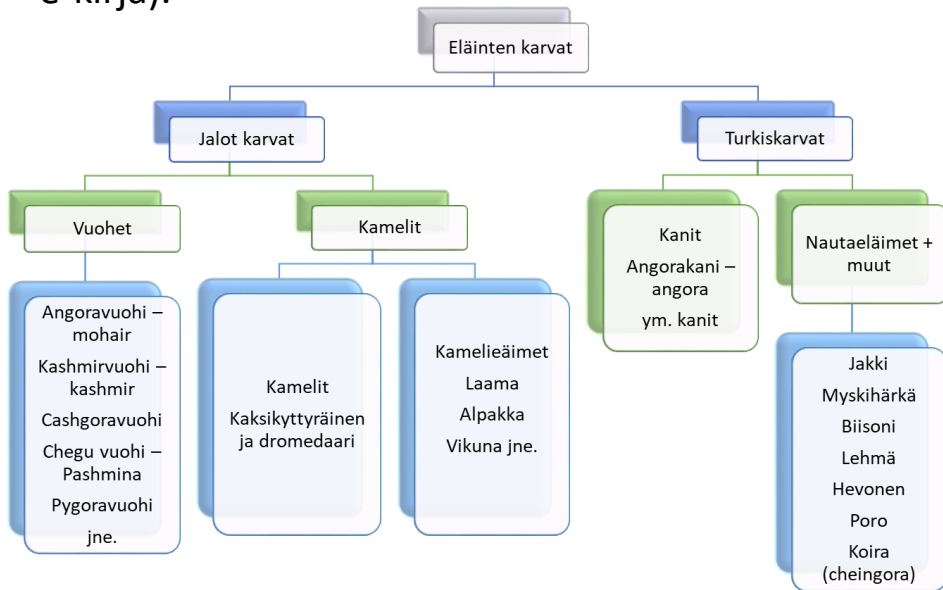
ELÄINPOHJAISET
PROTEIINIT



REKOMBINAATTI-
PROTEIINIT

PROTEIINIKUIDUT

Eläinkuiduista kaikkein tunnetuimmat ja tuotantomääriltään suurimmat ovat villa ja silkki. Muut eläinten turkista saatavat kuidut on koottu Kuvaan. Näiden lisäksi uusia eläinkarvakuituja on tutkimusasteella; esimerkiksi opossumin karvan on todettu soveltuvan tekstiilikuiduiksi (Sustainable Fibres e-kirja).



Kuva 19. Tekstiilikuiduiksi soveltuvien eläinten karvojen jaottelu, muut kuin villa ja silkki.

Eläinkuidut ovat proteiinikuituja, mutta myös eläinproteiineja voidaan hyödyntää tekstiilikuitujen raaka-aineena. Eläinproteiinit ovat polypeptidejä, esimerkiksi kollageeni, kaseiini, fibroini ja keratiini ovat polypeptidipolymeerejä. Regeneroidut proteiinikuidut ovat yleisnimityksenä Azlon-kuituja ja niitä tutkittiin ennen synteettisten tekokuitujen tuloa markkinoille.

Maidosta eristetyistä kaseiineista voidaan valmistaa proteiinikuituja. Kaseiinin käyttö kuidutukseen on keksitty jo 1930-luvulla, mutta kaseinikuitujen tuotanto loppui synteettisten tekokuitujen markkinoille tulon myötä. Tällä hetkellä kaseinikuitujen tuotanto on elpymässä ja ainakin Lanital-kauppanimellä tehdystä kaseinikuidusta on saatavilla vaatteita Origami-brändiltä.

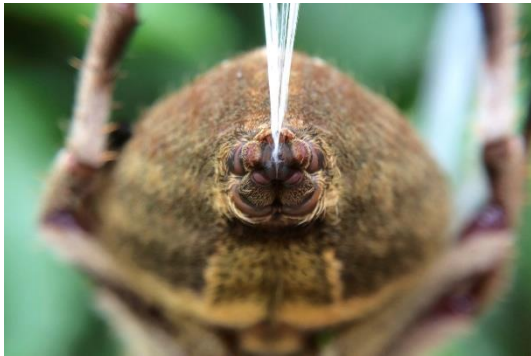
(www.origamiorganics.com/en/).

Eläinproteiinit ovat polypeptidejä, Muita tutkimusasteella olevia proteiiniähteitä ovat esimerkiksi lintujen höyhenistä ja jätevälistä saatava keratiini. Kokeellisesti on osoitettu, että sekä höyhenet että jätevälistä pystytään liuottamaan ionisiin liuottimiin ja edelleen kehräämään kuiduksi. Kuidun raaka-aine voi olla myös erotettu munista (albumiini), maissista tai soijasta (zeiini) tai nahkasta (kollageeni).

Seuraavassa esitellään spidroini-proteiineista valmistettuja hämähäkkisilkkituituja sekä limaajanahkaisen liman mahdollisuuksia tekstiilikuituna.

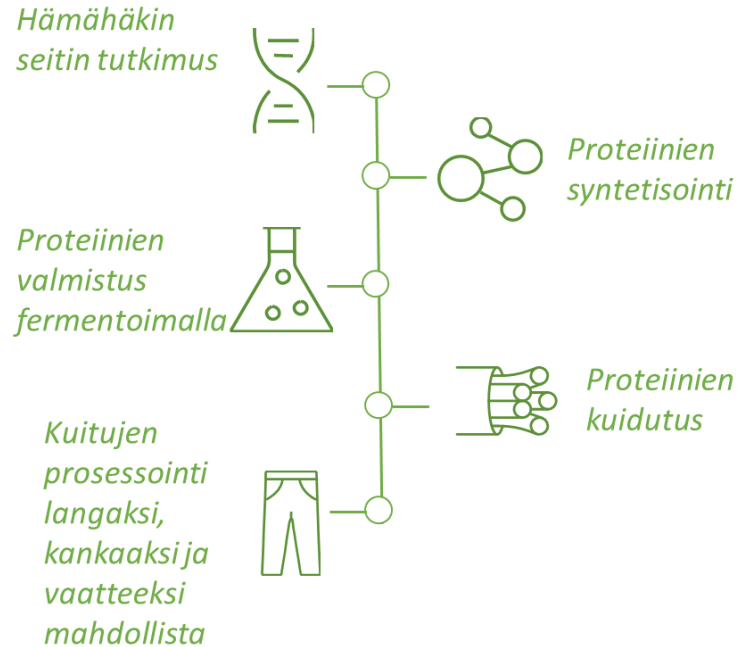
HÄMÄHÄKKISILKKI

Hämähäkkisilkki (spider silk) on yksi esimerkki proteiinikuiduista. Hämähäkkisilkki on ryhmä syntetisoituja proteiinikuituja, jotka mimikoivat hämähäkin seittiä. Tutkimuskäyttöön hämähäkin seittiä on kerätty suoraan hämähäkistä, mutta kaupallisiin sovelluksiin tähtääviin hämähäkkisilkkikuituihin tarkoitetut rekombinaatti-proteiinit, spidroiinit, on tuotettu esimerkiksi bakteerien ja hiivasienten avulla. Spidroiinit liuotetaan ja kehrumenetelmänä voidaan käyttää



Kuva 20. Pyyntiverkkoon seittiä tuottavien hämähäkkien seitti on ollut lähtökohtana hämähäkkisilkin kehityksessä.

märkä- tai kuivakehruuta, myös sähkökehruulla on tuotettu nanokuituja spidroiiniliuoksista. (Doblhofer 2015)



Kuva 21. Periaatekuva hämähäkkisilkin valmistuksesta Bolt Threadsin mukaan

Kaupallisesti synteettistä hämähäkkisilkkiä kehittävät esim. Spiber Inc. Japanissa (www.spiber.jp/en/), saksalainen AMSilk

biosteel®-tuotteellaan Bolt Threads (boltthreads.com/), ja Kraig Biocraft Yhdysvalloissa (www.kraiglabs.com).

Hämähäkin seitti on erittäin lujaa, hyvin joustavaa ja siitä on sanottu, että saman painoiseen teräkseen verrattuna hämähäkin seitti on viisi kertaa lujempaa. Synteettinen hämähäkkisilkkikuitu ei vielä ole saavuttanut samanlaisia lujuusominaisuuksia, mutta kuitujen mekaaniset ominaisuudet ovat riittävät tekstiiliprosesseihin.

Synteetisoiduista proteiineista valmistetut hämähäkkisilkkikuidut ovat biohajoavia. Koska kuidut ovat kehitysasteella, niille ei ole selkeää kierrätysreittiä. Niiden tunnistaminen on todennäköisesti mahdollista, mutta niiden soveltuvuudesta erilasiin kierrätysprosesseihin ei ole tällä hetkellä tietoa.

LIMAKUIDUT

Limaaja ts. limanahkiainen (hagfish) on alkeellinen kala, joka elää meren pohjassa. Sen puolustusmekanismi on liman erityy. Lima koostuu musiinista, merivedestä ja proteiinifibrilleistä, joiden tehtävä on pitää lima koossa. (Sustainable Fibres)

Esimerkiksi Chapman Univeristyn biofysiikan laitos (<https://sites.chapman.edu/fudge/project/biophysics-of-hagfish-slime/>) tutkii limaa tuottavaa limaa (hagfish slime); esim. mekanismia miten kala tuottaa limaa ja millainen proteiinkoostumus limassa on.



Kuva 22. Limaaja ja sen erittämä lima. (<https://sites.chapman.edu/fudge/project/biophysics-of-hagfish-slime/>)

Natiivi limakuitu on erotettavissa limasta. Kuidut ovat ohuita ja pisimmillään noin 15 cm pitkiä. Ne ovat hyvin lujia ja niillä on suuri venymä. Natiivi limakuitu muistuttaa ominaisuuksiltaan hämähäkin seittiä.



Kuva 23. Limaajan limassa erottuvia proteiinkuituja. (<https://sites.chapman.edu/fudge/project/biophysics-of-hagfish-slime/>)

Limaajakalojen tarhaus ja liman ammattimaista suuremman mittaluokan korjuuta limaa ei nähdä mahdollisena.

Siksi tutkimusta on tehty myös sellaisten kuitujen tuottamiseksi, jossa käytetään limaproteiineja limaa, mutta proteiinit liuotetaan ja kehrätään kuiduksi. Tämä lisäksi tutkitaan liman proteiinkoostumusta, mikä on ensimmäinen askel siihen suuntaan, että pystyttäisiin valmistamaan myös rekombinaattiproteiineja, jotka mimikoivat limaa proteiineja.

Tällä hetkellä limakuidut sekä natiivit että regeneroidut ovat tutkimusasteella eikä niistä ole valmistettu tekstiilituotteita.

LÄHTEET

TFY2018 The Fiber Year 2018. World Survey on textiles & Nonwovens. The Fibre Year Consulting. May 2018

Biosynthetics 2018 Quick Guide to Biosynthetics. Textile Exchange 2018. <https://store.textileexchange.org/product/quick-guide-to-biosynthetics/>

Badia 2016 Badia J.D. and Ribes-Greus A. (2016) Mechanical recycling of polylactide, upgrading trends and combination of valorization techniques. European Polymer Journal, 22-39. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2016.09.005

Technical bulletin 2005 D.W. Farrington, J. Lunt, S. Davies, R.S. Blackburn (2005) Poly(lactic acid) fibers. Technical Bulletin Biodegradable Sustainable Fibers. https://www.natureworksllc.com/~media/Technical_Resources/Ingeo_Technical_Bulletins/TechnicalBulletin_BiodegradableSustainableFibers_Chap6_2005_pdf.pdf

Kourmentza 2017 Constantina Kourmentza, Jersson Plácido, Nikolaos Venetsaneas, Anna Burniol-Figols, Cristiano Varrone, Hariklia N. Gavala, and Maria A. M. Reis (2017) Recent Advances and Challenges towards Sustainable Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production. Bioengineering 4(2) 55. doi: [10.3390/bioengineering4020055](https://doi.org/10.3390/bioengineering4020055)

Nyak 2016 Lopamudra Nayak, Siba Prasad Mishra (2016) Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation. Fashion and Textiles 3:2, 1-23. doi: 10.1186/s40691-015-0054-5

Jeannin 2020 Thomas Jeannin, Loïc Yung, Philippe Evon, Laurent Labonne, Pierre Ouagne, Michael Lecourt, David Cazaux, Michel Chalot, Vincent Placet (2020) Native stinging nettle (*Urtica dioica* L.) growing spontaneously under short rotation coppice for phytomanagement of trace element contaminated soils: Fibre yield, processability and quality. Industrial Crops & Products 145, 111997. doi:10.1016/j.indcrop.2019.111997

Lanzilao 2016 Gabriella Lanzilao, Parikshit Goswami, Richard S. Blackburn (2016) Study of the morphological characteristics and physical properties of Himalayan giant nettle (*Girardinia diversifolia* L.) fibre in comparison with European nettle (*Urtica dioica* L.) fibre. Materials Letters 181, 200–203. doi: 10.1016/j.matlet.2016.06.044

Shin 2018 Jooyoung Shin, Shou Xiang Kinor Jiang (2018) Development of Tailor-Shaped Bacterial Cellulose textile Cultivation Techniques for Zero-Waste Design. Clothing and Textiles Research Journal, 36(1), 33-44. doi: [10.1177/0887302x17737177](https://doi.org/10.1177/0887302x17737177)

Sustainable Fibres e-kirja Subramanian Senthilkannan Muthu, Miguel Angel Gardetti (eds.) Sustainable Fibres for Fashion Industry Volume 1. doi: 10.1007/978-981-10-0522-0

Doblhofer 2015 Doblhofer E, Heidebrecht A, Scheibel T. (2015) To spin or not to spin: spider silk fibers and more. Applied Microbiology and Biotechnology, 99(22):9361-80. doi: 10.1007/s00253-015-6948-8.

Kiitos

Telaketju on aktiivinen yhteistyöverkosto, jonka tavoitteena on edistää tekstiilien kestävästä tuotantosta, käytöstä ja kierrästä. Telaketjun tutkimustyö luo pohjaa kiertotalouden mukaiselle liiketoiminnalle ja rakentaa Suomesta tekstiilien kiertotalouden edelläkävijää. Muutosta tekemässä on kaikenkokoisia yrityksiä, yhdistyksiä ja tutkimusorganisaatioita sekä kuntien jätelaitokset. Business Finlandin rahoittamaan Telaketju2-projektiin ovat osallistuneet ja siten myös tämän selvityksen syntyyn ovat VTT:n lisäksi vaikuttaneet mukana olleet toimijat:

TurkuAMK · LAB · Image Wear · Touchpoint · Lounais-Suomen Jätehuolto · Pure Waste Textiles · Aijuu · Black Moda · Fida · Freudenberg · Globe Hope · Infinited Fibre Company · Kangaskapina · Kehräämö Mustalammas · Kuumeri · Mirka · Nextiili-paja · Nosh Company · Painovoimapaja · Paptic · Porin Villa ja Peite · PK-seudun kierrätyskeskus · Reima · Sideflow · Suomen Tekstiili & Muoti · Topper · Työn Vuoksi ry · Vaatepuu · Valmet · Verstaas 247