



Biopohjaiset tekokuidut – Vastuulliset pakkaukset ja tekstiilit

Marja Rissanen

17.1.2025

Sisältö

- Kysymyksiä esitehtävästä
- Selluloosamuuntokuitujen raaka-aineet ja vastuullisuus
- Lounastauko
- Biopohjaiset synteettiset tekokuidut
 - Raaka-aineet
 - ominaisuudet
- Kahvitauko
- Uudet biopohjaisten tekokuitujen innovaatiot
 - Selluloosamuuntokuidut
- Lopputehtävän läpikäynti

Historia

Viskoosi ja modaali

Vuosi	Tapahtuma
1892	Cross, Bevan, Beadle (GB 8700)
1899	Cross&Stearn, viskoosisyndikaatti
1904	Courtauld, Coventry, UK, tuotanto alkaa
1916	Oberbruch, Saksa Katkokuitutuotanto alkaa
1965	Modaalikuidun tuotanto alkaa
1980-luku	Tehtaiden sulkemisia Euroopassa (riikkihiili, jätevedet)
2021	Tuotanto 6.5 milj. tonnia/vuosi, pääosa tuotannosta Aasiassa

Lyocell

Vuosi	Tapahtuma
1939	Graenacher, tert-amiinioksidi
1969	Kodak
1969	Enka, pilottitehdas
1979	Courtauld aloittaa
1983	Lenzing aloittaa
1989	Kuitunimi Lyocell
1992	Mobile, USA, Courtauld ensimmäinen tehdas
1997	Lenzing, Heiligenkreuz
2005	Lenzing ostaa Tencel-tuotannon
2021	Tuotanto n. 0.4 milj. tonnia/vuosi, pääosa tuotannosta Euroopassa

Viskoosi (CV, cellulose viscose)

- Viskoosiprosessilla valmistettu selluloosamuuntokuitu
- Raaka-aine liukosellu (selluloosa)
 - neitseellisestä puuraaka-aineesta
 - Ominaisuudet: korkea selluloosapitoisuus (>93%), korkea reaktiivisuus, säädetty moolimassa ja –jakauma (viskositeetti 450 mL/g)
 - Puusellu: eukalyptus, pyökki, mänty-kuusi
 - Muut: bambu
 - Päätuotantoalueet: Etelä-Aasia, Amerikka, Eurooppa
 - Puuvillalintteri (lyhyt kuitunukka, neitseellinen materiaali), käytetään etup. Kiinassa
 - Liukosellu puuvillapitoisesta tekstiilijätteestä (hyvin vähäisessä määrin käytössä)
 - Raaka-aineen valmistajia/teknologioita mm. Circulose, Worn Again, Södra Once More

Viskoosi: tuotantoprosessi

1. Selluloosan merserointi alkaliselluloosaksi
2. Alkaliselluloosan esikypsytytys
3. Rikitys selluloosaksantaatiksi
4. Selluloosaksantaatin jälkikypsytytys
5. Märkäkehruu
6. Venytys
7. Jälkikäsitteilyt
8. Kuivaus ja paalaus

Modaali (CMD, cellulose modal)

- Selluloosamuuntokuitu, jolla on märkänä korkea murtolujuus ja alkumoduli
- Valmistetaan modifioidulla viskoosimenetelmällä
- Erot viskoosin valmistukseen
 - Liuokosellussa suurempi selluloosapitoisuus (95-98%) ja selluloosalla suurempi moolimassa (DP 1000 – 1250),
 - Suurempi rikkihiilen käyttö 0.35 kg / kg kuitua)
 - Kehruussa alhaisempi selluloosapitoisuus ja alhaisempi kehruunopeus
 - Kehruuliuoksessa ja –kylvyssä käytetään modifiointiaineita, jotka hidastavat regeneroitumista
 - Selluloosan regeneroitumisen hidastumisen vuoksi kuitua voidaan venyttää enemmän, jolloin orientaatio- ja kiteytymisaste kasvaa
 - Kuitu turpoaa vähemmän vedessä, jolloin märkälujuus on suurempi ja märkävenymä pienempi kuin viskoosilla

Lyocell (CLY, cellulose lyocell)

- Orgaanisia liuottimia käyttävällä kehruumenetelmällä valmistettu selluloosakuitu
- Raaka-aineena liukosellu
 - Raaka-aineen moolimassa korkeampi kuin viskoosilla (650 – 750)
 - Raaka-aineella alhainen tuhka- ja metalli-ionipitoisuus (Fe)
 - Neitseellisestä puuselluloosasta
 - Neitseellisestä bambu-selluloosasta
 - Kierrätetty puuvilla-neitseellinen puuselluloosa (esim. Refibran raaka-aineena 20-30% leikkuujätettä)

Lyocell: valmistusprosessi

- Ns. suora liuotusmenetelmä, ei valmisteta selluloosaderivaattaa
- Liuotuksessa käytetään NMMO-liuotinta (N-metyylimorfoliini-N-oksidi)
- Liuotin 99,7% kierrätettävissä ja se on biohajoava

Valmistusvaiheet:

1. Liuotus
2. Kehruuliuoksen suodatus
3. Ilmarakokehruu
4. Regenerointi kehruuhauteessa (NMMO + vesi)
5. Pesu ja avivointi
6. Kuivaus ja paalaus

Asetaatti (CA, cellulose acetate)

- Raaka-aineena liukosellu
 - puuvillalintteri (tai maatalouden selluloosapitoinen ”jäte”)
- Selluloosa muunnetaan selluloosa-asetaatiksi etikkahapolla
- Termoplastinen
- Valmistus kuivakehruulla (liuotin asetoni)
- Tekstiilikäyttöön suurin osa valmistetaan filamenteiksi; katkokuidut savukkeiden filttereihin (ei lasketa tekstiilikäytöksi)
- Tuotanto n. 0.9 milj. tonnia

Asetaatti: valmistusprosessi

- Liuotus asetoniin
- Kuitusäikeiden kiinteytys kuumalla ilmalla
 - Asetonin kierrätys

Yhteenveto kuituominaisuuksista

	Viskoosi	Modaali	Lyocell	Asetaatti	Puuvilla	Polyesteri
Vetolujuus, kuiva (cN/tex)	Normaali: 16-27 Erikoisluja: 28-44	30-35	34-40	10-15	25-40	Normaali: 35-56 Erikoisluja: <100
Murtovenymä, kuiva (%)	Normaali: 17-23 Erikoisluja: 15	13-16	11-16	25-30	7-8	Normaali: 15-40 Erikoisluja: 5-10
Vetolujuus, märkä	30-60% alhaisempi kuivalujuutta	30-60% alhaisempi kuivalujuutta	15-25% alhaisempi kuivalujuutta	30% alhaisempi kuivalujuutta	20% korkeampi kuivalujuutta	Sama kuin kuivana
Murtovenymä, märkä	10-30% korkeampi kuivavenymää	20% korkeampi kuivavenymää	20% korkeampi kuivavenymää	40% korkeampi kuivavenymää	20% korkeampi kuivavenymää	Sama kuin kuivana
Kosteuspitoisuus (%)	13	11	11	6.5	7-9	0.4
Lämmönkestävyys (°C)	150-180	150-180	150-180	170-180	120-220	120-150
Happojen kestävyys	Erittäin heikko	Erittäin heikko	Erittäin heikko	Heikko	Erittäin heikko	Hyvä
Emästen kestävyys	Hyvä	Hyvä	Hyvä / Keskinkertainen	Keskinkertainen	Hyvä	Hyvä
Hapettavien aineiden kestävyys	Heikko	Heikko	Heikko	Keskinkertainen	Keskinkertainen	Erittäin hyvä
UV-valon kestävyys	Heikko	Heikko	Heikko	Keskinkertainen	Keskinkertainen	Erittäin hyvä

Ympäristövaikutusten yhteenveto

- Raaka-aine uusiutuva; voidaan käyttää myös kierrätettyä puuvillajätettä
- Jos käytetään integroitua sellun ja kuidun tuotantoa, kuitu voi olla hiilinielu
- Viskoosiprosessi
 - Viskoosiprosessissa suuri kemikaalien, energian ja veden kulutus verrattuna lyocell-prosessiin
 - Kemikaalien kierrätys mahdollista, mutta kierrätysaste riippuu tuotantolaitoksesta ja tuotantomaan ympäristökriteereistä
- Lyocell-prosessi
 - Energian ja veden tarve vähäisempi verrattuna viskoosiprosessiin (Eurooppa vs. Kiina)
 - Käytetty kemikaali (NMMO) haitaton ja biohajoava
 - NMMO ja vesi kierrätetään prosessissa (NMMO:n osalta 99.7%)
 - Prosessienergia (uusiutuva/uusiutumaton)

Raaka-aineeseen liittyvät ympäristövaikutukset

- Selluloosaan tarvittavan puun hankinta ja metsien sertifiointi
- Canopy Hot Button Report
- <https://canopyplanet.org/tools-and-resources/hot-button-report>

Proteiinimuuntokuidut

- Soijakuitu
- Kaseiinikuitu (maitoproteiini)
- Zein (maissiproteiini) tseiini

Synteettiset biopohjaiset tekokuidut

Biopohjaiset synteettiset tekokuidut

- Polymeeri syntetisoitu pienimolekyylisistä raaka-aineista
- Raaka-aineet voivat olla kokonaan tai osittain peräisin luonnon uusiutuvista lähteistä
 - Esim. maissi, sokerijuurikas, sokeriruoko, vehnä, risiini jne.
 - Raaka-ainelähteiden vastuullisuus (food vs. non-food, metsäkato)
- voivat olla ilmastoystävällisempi vaihtoehto fossiilipohjaisille vastineilleen
- Voivat korvata perinteiset synteettiset materiaalit. Tästä syystä ne herättävät paljon kiinnostusta muoti- ja tekstiiliteollisuudessa

Biopohjaisten polymeerien tuotanto

- Biomuovien tuotanto on n. 0.5% kaikesta muovien tuotannosta

Polytrimetyleenitereftalaatti (PTT)

- Osittain biopohjainen polymeeri
 - 1,3-propaanidioli + tereftaalihappo (tai dimetyylitereftalaatti)
- Kuidutus sulakehruulla
- Kuitunimi: triexta (ei käytetä juurikaan)

PTT, ominaisuudet

- Murtolujuus hieman alhaisempi kuin PET
- Murtovenymä suurempi kuin PET
- Hyvä kimmoisuus ja palatuvuus venymästä (vrt. PA)
- Parempi elastisuus verrattuna PET
- Pehmeämpi tuntu verrattuna akryyliin
- Voidaan värjätä alhaisemmassa lämpötilassa verrattuna PET
- Hyvät värinkestot
- Hylkii likaa, puhdistuu helposti, kuivuu nopeasti, ei ime kosteutta
- Ei ole biohajoava -> mikromuovipäästöt

PTT, käyttökohteet

- Vaatetus
 - Sisäpukeutuminen, urheiluvaatetus, uima-asut
- Sisustus
 - Matot, vuodevaatteet, verhot, verhoilu
- Tekniset tekstiilit
 - Kuitukankaat, autojen sisäverhoilu

Polylaktidi (PLA)

- Kokonaan biopohjainen (täykkelys esim. maissista -> entsyymihydrolyysillä glukoosiksi -> fermentointi maitohapoksi)
- Termoplastinen
- Sulakehruulla valmistettu kuitu polymaitohaposta

Polylaktidi: Ominaisuudet

- Murtolujuus alhaisempi kuin PET:lla
- Murtovenymä suurempi kuin PET:lla
- Hyvä kimmoisuus
- Alhaisempi sulamis- ja pehmenemispiste verrattuna PET:iin (166°C vrt. 254°C)
- ei ime kosteutta, hyvät kosteudensiirto-ominaisuudet
- hyvä UV-valon kesto
- Paloturvallisempi kuin PET (alhainen syttyvyys, vähäinen savunmuodostus palaessa)
- Värjätään dispersioväreillä
- Biohajoava kompostiolosuhteissa
- Stereokompleksinen PLA ei ole biohajoava

Polylaktidi: käyttökohteet

- Tekniset tekstiilit
 - Kuitukankaat, esim. kosteuspyyhkeet, lääketieteelliset tekstiilit
- Sisustus
 - Vanut, vuodetekstiilit
- Vaatetus
 - Vähäinen käyttö
 - Alhainen silityslämpötila ja hydrolyysi korkeassa ja alkalisissa olosuhteissa rajoittavat vaatetuskäyttöä
 - Alhainen sulamispiste voi rajoittaa käyttöä langanvalmistuksessa ja ompelussa (metalli-kuitukitka)
 - Värinkesto-ominaisuudet huonommat kuin PET:llä

Biopohjaiset polyamidit

- PA11 (Rilsan, Arkema)
- PA 4.10 (EcoPaXX, Envalior; Enka Nylon Bio, Indorama)
- PA 6.10 (Vestamid, Evonik; Ultramid, Basf; Zytel, DuPont)
- PA 10.10 (Vestamid, Evonik; Zytel, DuPont)
- PA 6.6 (Sensil, Nilit)
- PA 5.6 (Bio Amni, Solvay)
- <https://www.bio-sourced.com/biobased-polyamides/>
- <https://akro-plastic.com/en/compounds/akromid-next>

Biopohjainen polyuretaani

- Osittain biopohjainen (polyoli)
- Esim. Lycra T400 Ecomade: kierrätetty PET, biopohjainen polyoli
- Creora: osittain biopohjainen elastaani

Muita biopohjaisia synteettisiä kuituja

- Polybutyleenisukkinaatti (PBS)
- Polyhydroksialkanoaatit (PHA), kuten
 - Polyhydroksibutyraatti hydroksivaleraatti (PHBV)
 - Polyhydroksibutyraatti (PHB)
- Bio-PET
- Bio-PP
- Bio-PE

Uudet selluloosamuunto- kuidut



Sellunvalmistusmenetelmät tekstiilijätteestä

- Södra: OnceMore® liukosellu, jossa sekä puuvillatekstiilijätettä että neitseellistä sellua
- Circulose: puuvillapitoisesta tekstiilijätteestä tehdään liukosellua (Circulose®), jota voidaan käyttää sekä viskoosi- että lyocell-kuitujen valmistukseen. Tekee yhteistyötä useiden bränditalojen kanssa.
- SaXcell: puuvillapitoisesta tekstiilijätteestä tehdään liukosellua, jota voidaan käyttää sekä viskoosi- että lyocell-kuitujen valmistukseen

Taustaa

- Uuden sukupolven kestäväen kehityksen mukaisia selluloosamuuntokuituja on tulossa markkinoille
- Näiden pääosin kierrätysraaka-aineista valmistettujen tekokuitujen osuuden arvioidaan olevan alle 1 %
- Meneillään olevan tutkimuksen ja tuotekehityksen myötä osuuden odotetaan kuitenkin kasvavan merkittävästi tulevina vuosina
- Nämä innovaatiot ovat saaneet alkunsa selluloosakemian sekä sellu- ja paperiteollisuuden keksinnöistä ja panostuksesta

Spinnova

- Suomalainen start-up-yritys valmistaa SPINNOVA® kuituja mikrofibrilloidusta selluloosasta Jyväskylän tehtaalla
- Kuitu toimii hiilinieluna
- Woodspin tehtaan kapasiteetti 1000 t/v. Tekee yhteistyötä useiden bränditalojen kanssa.
- Myynnissä olevissa tuotteissa on n. 20-30% SPINNOVA® kuitua ja loput puuvillaa.
- Teknologiassa selluloosa-vesisuspensio kuidutetaan suulakeen läpi ja vesi haihdutetaan, jolloin muodostuu selluloosamuuntokuitu
- Jättemateriaalin, esim. nahka, oljet, puuvilla, käyttöä tutkitaan

Vesipohjaiset valmistusmenetelmät: selluloosakarbamaatti

- Infinited Fiber Company kierrättää puuvillatekstiilijätteen Infinna™-karbamaattikuiduiksi. Mukana voi olla pieniä määriä muita kuituja mm. polyesteriä ja elastaania.
- Yritys tekee kuituja pilot-mittakaavassa, mutta suunnittelee kasvattavansa kapasiteettia 30 000 tonniin. Tekee yhteistyötä useiden bränditalojen kanssa.
- Karbamaattiprosessi on analoginen viskoosiprosessin kanssa, mutta siinä ei vapaudu haitallisia yhdisteitä. Selluloosa reagoi urean kanssa muodostaen selluloosakarbamaattia, ja tämä liuos kehrätään märkäkehuulla, ja kuidut regeneroidaan happamassa kehruhauteessa
- Karbamaattikuitujen ominaisuudet ovat lähellä viskoosi/modaalikuituja
- Karbamointiprosessin vuoksi kuidut sisältävät typpeä ja tämän vuoksi värien päällemeno on suurempi verrattuna viskoosiin

Vesipohjaiset valmistusmenetelmät: Biocelsol

- VTT:n (ja aiemmin Tampereen teknillisen yliopiston) kehittämä prosessi perustuu selluloosan entsyymaattiseen esikäsitteilyyn ja liuottamiseen kylmään natriumsinkaattiin
- Kuidut kehrätään märkäkehrulla ja regeneroidan happamassa kehruukylvyssä
- Teknologia on tällä hetkellä pilot-mittakaavassa
- Kuitujen ominaisuudet muistuttavat viskoosikuitua, mutta Biocelsol –kuidut imevät enemmän vettä kuin tavalliset viskoosikuidut
- Biocelsol-kuitujen värinotto on suurempi kuin tavallisella viskoosilla

Vesipohjaiset valmistusmenetelmät: TreeToTextile

- Ruotsalainen TreeToTextile teknologia on samantyyppinen kuin Biocelsol –teknologia, mutta kuidut regeneroidaan alkalisessa kehuukylvyssä (vrt. Biocelsol hapan kehuukylpy)
- TreeToTextile rakentaa 1500 tonnin koetehdasta Ruotsiin
- Yhteistyötä useiden bränditalojen ja Lenzing AG:n kanssa

Vesipohjaiset valmistusmenetelmät: Norratex

- Nordic Bioproduct Groupin ja Aalto-yliopiston kehittämä kuitu
- Perustuu AaltoCell™ teknologiaan (mikrokiteinen selluloosa, MCC)
- Valmistuksessa ei tarvita haitallisia kemikaaleja

Ioninen neste –pohjaiset valmistusmenetelmät: Kuura™

- Metsä Group ja japanilainen Itochu ovat rakentaneet Äänekoskelle 500 tonnin koetehtaan
- Teknologia perustuu selluloosan suoraliuotukseen
- Raaka-aineena käytetään Metsän kuivaamatonta paperisellua
- Kuitu on lyocell-tyyppinen

Ioninen neste –pohjaiset valmistusmenetelmät: loncell®

- Selluloosa liuotetaan ioniseen nesteeseen ja liuos kehrätään ilmarakokehruulla ja kuidut regenroidaan vesihauteessa
- Kemikaaleina ainoastaan ioninen neste ja vesi, jotka molemmat voidaan kierrättää prosessissa. Raaka-aineina voivat olla sellu ja puuvillatekstiilijäte. Myös kartongin ja paperin käyttöä kokeiltu.
- Teknologia kehitetty yhteistyössä Aalto yliopiston ja Helsingin yliopiston kanssa
- loncell Oy kaupallistaa pilot-mittakaavassa olevaa teknologiaa
- Kuidut lyocell-tyyppisiä, lujuus jopa 60 cN/tex

Muita innovaatioita

- Heiq AeonIQ (Sveitsi):
 - sellusta tehdään selluloosamuuntokuitulankaa (filamenttilanka)
- WornAgain (UK)
 - Puuvilla/polyesterisekoitetekstiilistä tehdään liukosellua ja polyesterigranulaatteja, joista molemmista voidaan tehdä uusia kuituja

Lähdeluettelo ja lisälukemistoa

- Akro Compounds. Sustainable polyamides. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://akro-plastic.com/en/compounds/akromid-next>
- Albrecht, W., Wulfhorst, B. and Kültner, H. “Regenerated cellulose fibers,” Man-Made Fiber Year Book, 41:1 (1991).
- Albrecht, W, Reintjes, M. and Wulfhorst, B. “Lyocell Fibers.” Man-Made Fiber Year Book, 47:1 (1997).
- Balart, R.; Garcia-Garcia, D.; Fombuena, V.; Quiles-Carrillo, L.; Arrieta, M.P. Biopolymers from Natural Resources. *Polymers* 2021, 13, 2532. <https://doi.org/10.3390/polym13152532>
- Bechtold, T. and Pham, T. *Textile Chemistry*. Berlin: Walter de Gruyeter, 2019.
- BioSourced. Biobased Polyamides: Bridging Sustainability and Performance. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://www.bio-sourced.com/biobased-polyamides/>
- BISFA. Terminology of man-made fibres. Brussels: BISFA, 2009.
- Canopy Planet. The Hot Button Report. Viitattu 13.1.2025. <https://www.datocms-assets.com/132613/1735923692-hot-button-full-grid-2024.pdf>
- Circulose. About. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://circulo.se/en/about/>

Lähdeluettelo ja lisälukemistoa

- European bioplastics, Bioplastics Market Development Update, 2022–2023. Viitattu 13.1.2025. https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2023/EUBP_Market_Data_Report_2023.pdf, 2023.
- Farrington, Davies, Blackburn, Poly(lactic acid) fibers, In: Biodegradable and Sustainable Fibres, Woodhead Publishing, 2005.
- Heiq AeonIQ. Our technology. Viitattu 13.1.2025. <https://www.heiq-aeoniq.com/our-technology/>
- Infinited Fiber Company. Our technology. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://infinitedfiber.com/our-technology/>
- Kamppuri, T., Vehviläinen, M., Puolakka, A., Honkanen, M., Vippola, M., Rissanen, M. ” Characterisation of novel regenerated cellulosic, viscose, and cotton fibres and the dyeing properties of fabrics” *Coloration Technology* 131:5 (2015): 396-402.
- Kuura. The process. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://www.kuura.io/process/>
- Lewin, Menachem, Ed. *Handbook of Fiber Chemistry*. 3rd Ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- Mather, R., Wardman, R., *The Chemistry of Textile Fibres*. 2nd Ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2015.

Lähdeluettelo ja lisälukemistoa

- Moriam, K., Sawada, D., Nieminen, K., Hummel, M., Ma, Y., Rissanen, M., Sixta, H. “Towards regenerated cellulose fibers with high toughness.” *Cellulose* 28:15 (2021): 9547–9566.
- Nordic Bioproduct Group. Norratex. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://nordicbioproducts.fi/>
- Prabhu K H, 2022, Biosynthetic fibres gaining interest in the textile industry, *The Indian Textile Journal*. Viitattu 13.1.2025. <https://indiantextilejournal.com/biosynthetic-fibres-gaining-interest-in-the-textile-industry/>
- Rana, Sohel & Pichandi, Subramani & Parveen, Shama, Fanguero, Raul. (2014). Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability. 10.1007/978-981-287-065-0_8
- Ritzen, L., Sprecher, B., Bakker, C., Balkenende, R., Bio-based plastics in a circular economy: A review of recovery pathways and implications for product design. *Resources, Conservation and Recycling*, 199 (2023) 107268, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107268>
- Saxell. Technology. Viitattu 13.1.2025. <https://saxcell.com/technology.html>
- Shen, L., Worrell, E., Patel, M. K. “Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres.” *Resources, Conservation and Recycling* 55:2 (2010): 260–274.

Lähdeluettelo ja lisälukemistoa

- Shen, L., Worrell, E., Patel, M. K. “Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulosics”. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 6:6 (2012): 625-639.
- Spinnova. Technology. Verkkosivu. Viitattu 13.1.2025. <https://spinnova.com/technology/>
- Suarez,A., Ford, E., Venditti, R., Kelley,S., Saloni, D., Gonzalez, R. Rethinking the use of bio-based plastics to accelerate the decarbonization of our society. *Resources, Conservation and Recycling*, 186 (2022) 106593, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106593>.
- Södra. OnceMore. The process.Viitattu 13.1.2025.
<https://www.sodra.com/en/global/pulp/oncemore/process/>
- Textile Exchange. Materials Market Report 2024. pdf-julkaisu. Viitattu 13.1.2025.
- Textile Exchange, The Sustainability of Biosynthetics, 2022. pdf-julkaisu. Viitattu 13.1.2025.
- The Fiber Year. World Survey on Textiles & Nonwovens 2021.

Lähdeluettelo ja lisälukemistoa

- Vehviläinen, M., Määttänen, M., Setälä, H., & Rissanen, M. 2023. Functionalized Biocelsol - Regenerated Cellulosic Fibres with Improved Dyeability with Anionic Reactive Dyes. teoksessa A. Virtanen, K. Torvinen, & J. Vepsäläinen (Toimittajat), NWBC 2022 (Sivut 262-263). (VTT Technology; Nro 409). VTT Technical Research Centre of Finland; Association of Finnish Civil Engineers RIL.
- Woodings, Calvin, Ed. Regenerated cellulose fibres. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.
- Worn Again. Technology. Viitattu 13.1.2025. <https://wornagain.co.uk/about-us/#technology>