

Kohti kestäviä tekstiilijärjestelmiä: Resurssiviisaan globaalin
tekstiililiiketoiminnan yhteiskehittäminen Suomeen (FINIX)
Tilannekuvaraportti 2019

Tiivistelmä

Tekstiiliteollisuuden vallitsevana paradigmana on nykyisellään pikamuoti, jossa heikkolaatuisia lyhyen käyttöiän tuotteita valmistetaan nopealla tahdilla muuttuviin trendeihin. Globaali tekstiiliteollisuus toimii ympäristön kannalta kestävästi, sillä se tuottaa 10 % maailman hiilidioksidipäästöistä ja 35 % mikromuoveista sekä käyttää 16 % torjunta-aineista. Lisäksi tekstiiliteollisuus kuluttaa kehittyvien maiden niukkoja vesivaroja, tuottaa suuret määrät jätteitä ja päästöjä sekä kilpailee maankäytöstä elintarviketuotannon kanssa. Tuotanto tukeutuu maihin, joissa toimialaa varjostavat myös ihmisoikeusrikkomukset ja epäinhimillisen matalat palkat.

Uusi luonnonvarojen kestäväan käyttöön perustuva tekstiiliparadigma on kuitenkin syntymässä. Sille on ominaista kierrätystekstiileistä, maatalouden jätteistä ja puusta saatujen kuitujen käyttö, materiaalien pitkäikäisyyttä edistävät liiketoimintamallit sekä digitaaliset ja muut käänteisen logistiikan tekniikat (jäljitettävyys, tunnistettavuus, lajittelu), jotka yhdessä mahdollistavat tekstiilien kiertotalouden.

FINIX-hanke luo suomalaista tekstiilialan liiketoimintaa, joka edistää globaalia kestävää kehitystä. FINIXin monitieteinen tutkimusryhmä keskittyy uusien kiertotalouden mukaisten pitkäikäisten tekstiilimateriaalien, uusien liiketoimintamallien sekä tekstiileihin integroitavan informaation ja tunnistusteknologioiden kehittämiseen. Hankkeessa pyritään myös uusiin läpimurtoihin kiertotalouden hallinnoinnissa mukaan lukien parempi ymmärrys monikeskisesti hallinnoiduista liiketoimintaekosysteemeistä. Tuloksena on yhdessä teollisuuden, julkisen sektorin ja kansalaisjärjestöjen kanssa luotu kestävämpi tekstiilijärjestelmä, jolla on vankka tieteellinen perusta.

Hankkeessa toteutetaan myös kattava vaikutusarviointi, jossa uudet ratkaisut arvioidaan niiden ympäristövaikutusten sekä sosiaalisten ja taloudellisten vaikutusten perusteella.

Saavuttaakseen systeemisiä läpimurtoinnovaatioita FINIX tukeutuu muotoiluajatteluun ja yhteisluomiseen. Muotoiluajattelussa yhdistellään eri tutkimusalojen asiantuntemusta ja käytetään kokeilevia menetelmiä ongelmien ratkaisemiseksi. Yhteisluomisen menetelmillä FINIX puolestaan katalysoi ja nopeuttaa yritysten, julkisen sektorin, kansalaisjärjestöjen ja kuluttajien välistä yhteistyötä, joka tuottaa systeemisiä innovaatioita. Hankkeella on kattava vuorovaikutus- ja viestintätyöpaketti, joka sisältää esimerkiksi yhteiskehittämistyöpajoja, medianäkyvyyttä, materiaalityöntoita pilottilaitoksessa sekä osallistumista alan messuille. FINIX kokoaa yhteen suuryritykset, pk-yritykset, tekstiili-, metsä- ja jätealan startupit sekä kansalaisjärjestöt ja päätöksentekijät. Näin hanke myötävaikuttaa uuden kestävän suomalaisen tekstiililiiketoiminnan kehittämiseen muuttuvissa globaaleissa tekstiilijärjestelmissä.

1 Tutkimusongelma

Nykyinen globaali tekstiilituotanto- ja kulutusjärjestelmä on monelta kannalta kestävä, minkä takia tekstiilisektorin muutos kohti kiertotalouden toimintamalleja on välttämätön. Globaali tekstiiliteollisuus perustuu nykyisellään pitkälti pikamuotiin: heikkolaatuisiin nopean kierron tuotteisiin, joiden käyttöikä on lyhyt. Tuotantomalli on ympäristön kannalta kestävä, sillä tekstiiliteollisuus tuottaa 10 % maailman hiilidioksidipäästöistä, 35 % mikromuoveista sekä käyttää 16 % maailman torjunta-aineista [1]. Tekstiilituotanto aiheuttaa myös niukkuutta vedestä kuivilla alueilla, kilpailee viljelysmaasta ruuantuotannon kanssa, vähentää biologista monimuotoisuutta sekä tuottaa valtavat määrät jätettä. Lisäksi tekstiilien valmistusta varjostavat ihmisoikeusrikkomukset ja epäinhimillisen alhaiset palkat [2].

Uusi kestävämpi tekstiilituotanto vaatii systeemisen muutoksen, jonka osana ovat uudet tekstiilimateriaalit, kiertotalouden mukaiset liiketoimintamallit, kiertotaloutta tukevat politiikkatoimet sekä kestäväällä tavalla toimivat liiketoimintaekosysteemit. Muutosta tukee myös

seuranta- ja tunnistusteknologioiden kehittäminen, mikä mahdollistaa tehokkaan tekstiilien elinkaaren hallinnan ja pidemmän käyttöiän.

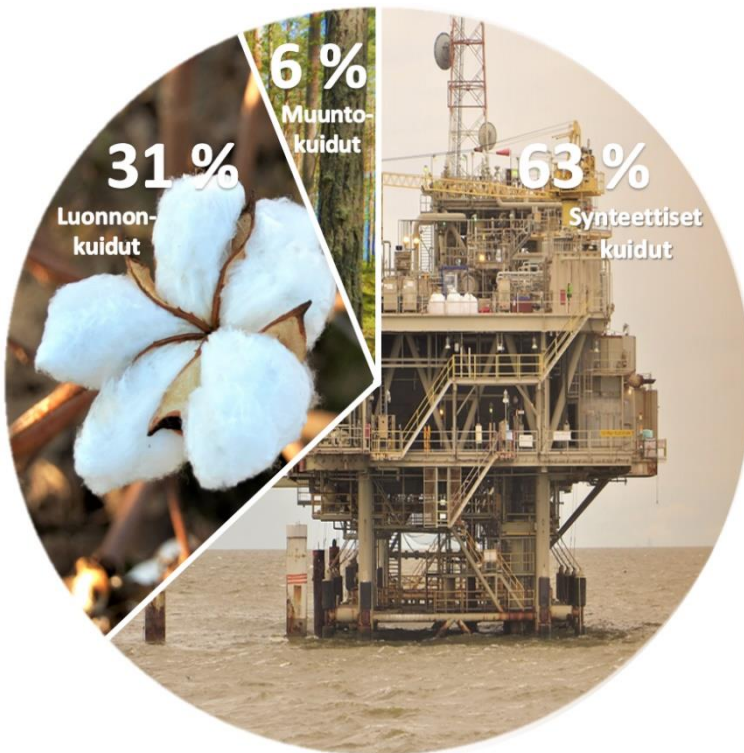
2 Tutkimuksen tausta

2.1 Tekstiilimateriaalit

Vuonna 2018 maailmassa tuotettiin tekstiilikuituja 106,5 milj. tonnia ja tuotannon vuotuinen kasvu on ollut keskimäärin 3 % [3]. Kokonaiskuitutuotannosta 63 % oli synteettisiä tekstiilikuituja, joiden lähtöraaka-aineet valmistetaan raakaöljyn tislauustuotteista eli ne ovat uusiutumattomia raaka-aineita (Kuva 1). Synteettisten kuitujen ongelmana on myös niiden biohajoamattomuus, sillä niistä irtoaa mikromuoveja vaatteiden pesun ja käytön yhteydessä [4, 5, 6]

Luonnonkuitujen, lähinnä puuvillan, osuus tekstiilikuiduista oli 31 %. Puuvilla, luonnon selluloosakuitu, on uusiutuva raaka-aine, mutta sen viljely aiheuttaa monia ympäristöhaittoja. Viljelyssä tarvitaan runsaasti keinokasteluvettä [7]. Lisäksi puuvilla on altis erilaisille tuhohyönteisille ja kasvitaudeille, minkä vuoksi viljelyssä käytetään paljon kasvinsuojeluaineita [8].

Loput 6 % maailman kokonaiskuitutuotannosta kuuluu muuntokuiduille, jotka valmistetaan uusiutuvista luonnonpolymeereistä. Muuntokuitujen valmistukseen käytetään eniten puusta saatavaa selluloosaa. Kaikkein yleisin selluloosamuuntokuitu on viskoosi. Sen tuotannossa käytetään myrkyllistä rikkihiiltä, joka pystytään osittain kierrättämään ja keräämään talteen, mutta josta osa kulkeutuu jätevesiin ja ilmaan. Viskoosin ongelmana on myös sen heikko märkälujuus eli siitä valmistetut vaatteet rikkoutuvat helposti pesussa.



Kuva 1. Maailman kokonaiskuitutuotanto raaka-ainepohjan mukaan.

Parempi vaihtoehto lujuusominaisuuksien ja ympäristön kannalta ovat lyocell-tyyppiset kuidut [9]. Ioncell™-kuitu on lyocell-tyyppinen kuitu, joka on varteenotettava vaihtoehto nykyisille kaupallisille selluloosamuuntokuiduille [10].

Suomessa käytetään vuosittain tekstiilikuituja 13-18 kg henkeä kohti [11]. Tällä hetkellä suurin osa poistotekstiileistä poltetaan jätteenpolttolaitoksissa, jolloin materiaalin sisältämä energia saadaan talteen [12]. Maailmanlaajuisesti eniten tekstiilejä loppusijoitetaan kaatopaikoille, jolloin niiden materiaalia ei hyödynnetä mitenkään [1]. Tekstiilimateriaalit voidaan kierrättää mekaanisesti eli repimällä kankaat kuitumuotoon. Revinnässä kuitupituus lyhenee, jolloin kuitu ei ole enää yhtä laadukasta kuin se oli alkuperäisessä tuotteessa. Jotta mekaanisesti kierrätetystä

kuidusta voidaan tehdä lankaa, siihen tulee sekoittaa neitseellistä kuitua [13]. Termoplastisia materiaaleja, kuten PET-juomapulloja, voidaan kierrättää termisesti eli polymeeri sulatetaan ja työstetään tekstiilikuiduiksi [14]. Selluloosaa sisältävät kuidut, kuten puuvilla, eivät sula, joten niiden kierrätykseen tarvitaan kemiallista kierrätystä. Ioncell™-teknologia on yksi tapa kierrättää selluloosapitoista materiaalia. Siinä kuidun lujuusominaisuudet jopa paranevat verrattuna alkuperäisen puuvillan lujuuteen [15, 16, 17].

2.2 Informaation tallentaminen ja tunnistusteknologiat

Tekstiilien alkuperän ja toimitusketjun jäljittäminen on haastavaa, minkä seurauksena tekstiilien elinkaaren hallinnan kannalta oleellinen tieto on usein puutteellista tai puuttuu kokonaan. FINIX-hankkeen tavoitteena on tutkia ja kehittää prosesseja, menetelmiä ja työkaluja, joiden avulla oleellista informaatiota voidaan tallentaa ja integroida suoraan tekstiileihin siten, että informaatio voidaan lukea tekstiilistä missä tahansa sen elinkaaren vaiheessa. Informaation lisääminen jo esimerkiksi raaka-aineen valmistusvaiheessa mahdollistaisi materiaalin seurannan koko sen elinkaaren ajan ja lisäisi valmistusketjun läpinäkyvyyttä.

Nykyisin käytetyt menetelmät, kuten QR-koodit, RFID- ja NFC-tunnisteet, mahdollistavat informaation tallentamisen ja lukemisen, mutta niitä voidaan hyödyntää vain lopputuotteissa, eivätkä ne kata tekstiilin koko elinkaarta [18]. Informaation tallentamiseen on olemassa lukuisia menetelmiä, joista osa voisi soveltua myös tekstiiliteollisuuteen (esimerkiksi magnetismiin ja optisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät). Informaatio on mahdollista tallentaa mikroskooppisiin partikkeleihin erilaisten graafisten [19], magneettisten [20] tai optisten tunnisteen avulla [21] tai näiden yhdistelmillä. Informaatio voitaisiin tallentaa esimerkiksi binäärimuodossa yksiulotteisena viivakoodina tai yksilöityinä tunnisteen/koodeina menetelmästä riippuen. Informaation lukeminen tapahtuu mittamalla tekstiiliin upotetun koodin signaali/signaalit siihen vaaditulla menetelmällä. Eri menetelmiä tutkittaessa otetaan

huomioon ratkaisulle asetetut vaatimukset ja haasteet, kuten lisättävän informaation määrä, kestävyys esimerkiksi pesun ja mekaanisen kulutuksen aikana, tallennus- ja lukumenetelmien kustannustehokkuus ja käytännöllisyys sekä ratkaisujen ekologisuus.

Teknologia voi mahdollistaa myös käytettyjen tekstiilien tehokkaamman erottelun hyötykäyttöön. Hyperspektrisellä kuvantamisella pystytään tallentamaan valtava määrä tietoa näytteen kemiallisista ominaisuuksista ja mahdollistamaan tekstiilien ominaisuuksien luotettava mittaaminen. Digitalisaatio sekä jatkuva laskentatehon, kamerateknologian ja kuvananalysointialgoritmien kehitys voivat tulevaisuudessa mahdollistaa teknologian sisällyttämisen tekstiilien valmistus- ja kierrätyslaitosten robottijärjestelmiin. Selluloosapohjaisille- tai kierrätystekstiileille ei kuitenkaan ole vielä kehitetty luotettavia kalibrointi-, luokittelu- ja ennustusmenetelmiä.

2.3 Liiketoimintamallit

Kiertotalouden liiketoimintamallit ovat viime vuosina nousseet esiin potentiaalisena keinona edistää talouden ja ympäristövaikutusten irtikytkentää [22, 23]. Tekstiilisektorilla monet kestävyysongelmat yhdistetään pikamuotiin. Pikamuodin tuotantoketju on rakennettu ottamaan huomioon kuluttajien mieltymykset nopeasti [24, 25]. Näin uusia mallistoja voidaan tuottaa jopa kahden viikon välein.

Tekstiilien kiertotalouden liiketoimintamallit jakautuvat kahteen pääluokkaan: materiaalikiertojen hidastamiseen ja sulkemiseen. Esimerkkejä näistä ovat siirtyminen omistajuudesta käyttöoikeuteen vuokrausmallien kautta (kiertojen hidastaminen) tai tuotteiden valmistaminen kierrätysmateriaaleista (kiertojen sulkeminen) [26]. Muodin vaihtumisnopeus voi kuitenkin vaikeuttaa vuokrausmallien edistymistä [27] tekstiilimateriaalin kierrätyksen teknisten haasteiden ohella. Uusia liiketoimintamalleja pidetään tärkeinä työkaluina myös sosioteknisissä

transitioissa, sillä ne ovat osa teknologisten innovaatioiden markkina-aseman vakauttamisessa sekä innovaatioiden murtautumisessa marginaalista valtavirtaan [28].

2.4 Liiketoimintaekosysteemit

Liiketaloustieteissä on viime vuosina lisääntynyt kiinnostus uudentyyppisissä verkostomaisissa organisaatioissa ja organisaatioiden välisissä kumppanuuksissa tapahtuvaa hallinnointia kohtaan [29, 30, 31]. Erityyppisillä hallinnointimekanismeilla voidaan sovittaa yhteen verkoston osapuolien eriäviä tavoitteita [32] sekä luoda yhteistyön mahdollistavia verkostorakenteita [33].

Uusimpana käsitteenä verkostojen rinnalle on noussut liiketoimintaekosysteemi, joka käsittää verkostorakenteen lisäksi esimerkiksi hajautetusta toiminnasta syntyvät systeemitason vaikutukset [34]. Ekosysteemien tutkimus on kuitenkin vielä toistaiseksi hyvin vähäistä, ja etenkin ekosysteemien hallinnoinnin on havaittu olevan tärkeä tulevaisuuden tutkimuskohde [34]. Toistaiseksi ekosysteemitutkimus on keskittynyt pääosin digitaalisten teknologioiden ympärille syntyviin uusiin ekosysteemeihin (mm. [34, 35]), ja esimerkiksi kestävään liiketoimintaan pyrkivät ekosysteemit ovat jääneet vähemmälle huomiolle, vaikka toisaalta on tunnistettu tarve kehittää ymmärrystä kestävään kehitykseen tähtäävien uusien yhteistyömuotojen hallintomalleista [36,37]. FINIX-hankkeessa yhdistetään olemassa olevaa tietoa monikeskisestä hallinnosta [38] sekä empiiristä tutkimusta ja kehitetään näin uutta teoriaa kiertotalouden ekosysteemien hallinnosta. Tämä laajentaa hankkeen tutkijoiden aiempaa tutkimusta kiertotalouden systemisestä hallinnoinnista.

2.5 Sääntely ja ohjaus

Systeminen muutos edellyttää kokonaisvaltaista, monitasoista ja monista toimijoista muodostuvaa ohjausjärjestelmää [39]. Muutoksessa yksityinen sektori, kansalaisyhteiskunnan organisaatiot, sosiaaliset

liikkeet ja kansainväliset organisaatiot vaikuttavat, valvovat (esim. [40]), arvioivat ja täydentävät kansallisia, kansainvälisiä ja globaaleja politiikkatoimenpiteitä vuorovaikutteisesti [41, 42].

Tekstiilialan muutosta kohti vastuullisempaa tuotantoa ja kulutusta ohjataan koko elinkaaren kattavalla julkissääntelyllä: taloudellisin ohjauskeinoin (verot, tuet) [43], normiohjauksella, julkisten hankintojen avulla, vapaaehtoisin toimin sekä tiedollisella ohjauksella [44]. Yksityisen sektorin vastuullisuusaloitteiden määrä kasvaa jatkuvasti (esim. ecolabelindex.com). Kiertotalouteen siirtyminen edellyttää oikein kohdennettuja politiikkatoimia sekä tarjonnan että kysynnän näkökulmasta [45]. Myös monikeskisen ohjausjärjestelmän nähdään edistävän muutosta [38].

Teknologisia ja liiketoimintamalli-innovaatioita tukemaan tarvitaan innovaatioita ohjaustoimien suunnittelussa, täytäntöönpanossa [46], valvonnassa ja vaikuttavuusarvioinnissa [47, 48, 49]. Systemisen muutoksen ohjaamisen haasteena on, että siihen tähtäävät innovaatiot, myös sääntelyinnovaatiot, syntyvät useiden eri tekojen, toimijoiden ja ympäristötekijöiden verkostoissa [50] ja yhteisvaikutuksesta [51]. Vaikuttavuuden aikaansaaminen edellyttää toimien yhteensovittamista. Toisena haasteena on systemisen muutoksen pitkä aikajänne. Aiempaa tutkimuskirjallisuutta hyödyntäen hankkeessa pureudutaan proaktiiviseen sääntelyyn [52, 53] tekstiilialan systemisen muutoksen mahdollistajana.

3 FINIX-hanke ratkaisee tekstiiliketjun systeemisiä ongelmia ja synnyttää kiertotalouden kestävästä tekstiililiiketoimintaa Suomeen

FINIX-hanke tuottaa uutta tieteellistä tietoa tekstiilijärjestelmien kriittisistä, toisiinsa kytkeytyvistä kestävyysnäkökohdista ja luo uutta resurssiviisasta tekstiililiiketoimintaa Suomeen tavalla, joka edistää globaalia kestävästä kehitystä. Hankkeen päätavoite on yhdistää suomalainen teollisuus nouseviin kestäviin tekstiiliratkaisuihin globaaleissa arvoketjuissa, mikä mahdollistaa tarvittavan paradigman muutoksen koko tekstiilijärjestelmissä (Kuva 2). Kiertotalouteen perustuva paradigma käsittää kierrätyskuitujen ja tekstiilien elinkaarien suunnittelun sekä digiteknologiaa

hyödyntävät liiketoimintamallit, jotka perustuvat kestävien materiaalien lisäksi jakamis- ja korjauspalveluihin.



Kuva 2. FINIX-hankkeen tutkimusaiheet, tavoitteet ja odotetut vaikutukset.

FINIX-hankkeen tavoitteena on myös synnyttää Suomeen kestäviä tekstiilialan kärkinnovaatioita (Kuva 3). Hankkeessa kehitetään kierrätettyjä, maatalousjäteperäisiä ja puupohjaisia kuitumateriaaleja sekä uusia ratkaisuja tekstiilien jäljitettävyyden, tunnistamisen ja elinkaaritiedon hallintaan. Hanke tutkii myös muodin, uusien liiketoimintamallien ja politiikkainstrumenttien vaikutusta tekstiilien elinkaaren pidentämiseen. Uusien toimenpiteiden

globaaleja kestävyysvaikutuksia arvioidaan samanaikaisesti toteutuksen kanssa. Hanke yhdistää liiketaloustiedettä, materiaalitiedettä ja -teknologiaa, muotoilua, digitaalisia teknologioita, ympäristötiedettä, kestävyystiedettä sekä oikeustiedettä. Yhdessä uusien innovatiivisten liiketoimintaekosysteemien kanssa hankkeen tulokset tarjoavat ratkaisuja globaalien yritysten kasvavalle tarpeelle kestäviin ratkaisuihin, mahdollistavat uuden kestävästä tekstiililiiketoiminnan syntymisen Suomessa sekä lopulta siirtymisen kiertotalouspohjaiseen tekstiilisysteemiin.



Kuva 3. Toisiinsa linkittyvät läpimurrot FINIX-konsortion tutkimusaloilla. Tällä hetkellä arvottomille materiaaleille luodaan arvoa uusilla lajittelu-, käsittely- ja prosessiteknikoilla sekä

käyttämällä jätteitä kuitujen valmistukseen. Digitaalisen teknologian kehittäminen seurantaan ja jäljitettävyyteen mahdollistaa tekstiilien suunnittelun erimittaisille elinkaarille sekä uudet palveluintensiiviset liiketoimintamallit. Ekosysteemien uudella hallinnoinnilla muodostuu tekstiilijärjestelmä, jossa tekstiilit pysyvät kierrossa pitkään.

FINIX-hankkeen tavoitteena on tehdä tieteellisiä läpimurtoja seuraavilla ydinalueilla:

1. Kriittiset tekijät kierrätetyn selluloosapohjaisen materiaalin käytössä loncell-prosessissa [54].
2. Uudenlainen informaatiojärjestelmä tekstiilien elinkaaritiedon hallintaan ja säilyttämiseen.
3. Uusiin materiaali-innovaatioihin ja digitaalisiin innovaatioihin perustuvat muotoilustrategiat eripituisille tekstiilielinkaarille.
4. Uudet läpimurrot kiertotalouden hallinnoinnissa mukaan lukien parempi ymmärrys palveluvaltaisista ja systemaattisista liiketoimintamalleista, liiketoimintamalleista vähenevän kulutuksen maailmassa sekä uusista monikeskisesti hallinnoituista [38] liiketoimintaekosysteemeistä.
5. Nykyisen ja tulevan tekstiilisynteesin kestävyysvaikutukset ja proaktiivisten politiikkatoimien tuki transitiossa kohti kiertotalouden mukaisia tekstiilisynteesijärjestelmiä.
- 6.

4 FINIX-hankkeessa tekstiilisynteesien ongelmanratkaisu nojautuu yhteisluomiseen ja muotoiluajatteluun

Systeminen muutos komplekseissa systeemeissä vaatii toisiinsa linkittyneitä disruptiivisia toimenpiteitä, jotka johtavat paradigman muuttumiseen [55]. Tällaiset disruptiiviset systeemeissä täytyy synnyttää yhdessä eri toimijoiden kesken: yritysten, edunvalvontajärjestöjen, lainsäätäjien, kansalaisjärjestöjen, yliopistojen ja kuluttajien [56]. FINIX-hankkeen lähestymistapa ongelmien ratkaisuun on muotoiluajattelu (design thinking) sekä yhteisluominen (co-creation) systeemisten kestävästä kehityksestä tukevien innovaatioiden luomiseksi.

Muotoiluajattelussa käytetään iteratiivisia prosesseja ja kokeilevia menetelmiä ongelman ymmärtämiseksi ja yhdistellään eri tutkimusalojen asiantuntemusta. Skenaariotyöskentelyn avulla muotoiluajattelu lisää innovaatiopotentiaalia monimutkaisessa monialaisessa ympäristössä [57]. Yhteisluominen puolestaan viittaa innovaatioprosessiin, jossa useat sidosryhmät luovat yhdessä yksittäisten toimijoiden ulottumattomissa olevia ratkaisuja [58]. Jotta monien sidosryhmien innovaatioekosysteemi voi luoda uutta arvoa, tarvitaan riittävän yhteinen visio, joka tukee toimijoita uusien yhteyksien luomisessa sekä tietojen ja resurssien jakamisessa konkreettisilla tavoilla. Akateemiset sidosryhmät ovat usein avainvälittäjiä (intermediary) ekosysteemien innovatiiviselle kehittämiselle [59, 60].

FINIX-hanke tukeutuu teollisen ekologian monitieteiseen alaan. Teollisessa ekologiassa yhdistetään kestävyystiede ympäristö- ja talousjärjestelmiin, optimoidaan energian ja materiaalien käyttöä ja minimoidaan jätteiden syntymistä siirtymällä lineaarisesta materiaalien käytöstä suljettuun materiaaleihin ja energian käyttöön [61]. Hankkeessa heijastuvat teollisen ekologian periaatteet monin tavoin. Teknologinen muutos on keskeinen piirre teollisessa ekologiassa, jonka tavoitteena on löytää uusia teknisiä ratkaisuja ja vähentää haitallisten aineiden käyttöä. Teollinen ekologia korostaa yritysten proaktiivista roolia materiaalitehokkuuden ja säännösten parantamisessa. Teollisessa ekologiassa tukeudutaan systeemiajatteluun ja monitieteisyyteen [62] esimerkiksi suunnittelemalla teollisia systeemejä paremmin kiertotalouden mukaisiksi.

FINIX-hanke jakautuu viiteen työpakettiin, joiden keskeiset menetelmät on kuvattu alla.

Ioncell-menetelmän kehitys

loncell-menetelmä tuottaa todistetusti puuvillaa vahvempia kuituja [63] ja mahdollistaa tekstiilijätteen kierrättämisen korkeamman laadun tuotteiksi (Kuva 4). Epäpuhtaudet ovat kuitenkin prosessin haasteena. FINIX-hankkeessa asia ratkaistaan:

(1) luomalla uusia menetelmiä kriittisten epäpuhtauksien havaitsemiseen ja poistamiseen tekstiilien kierrätyksessä

(2) kehittämällä kestäviä ja ympäristöystävällisiä tekstiilikuituja ja

(3) osoittamalla tekstiilikierrätys korkeamman laadun tuotteiksi teolliseen mittaluokkaan sopivaksi.

Nämä toimenpiteet myötävaikuttavat merkittäväällä tavalla korkealaatuisten kierrätyspohjaisten tekstiilikuitujen tuotantoon.



Kuva 4. Puuvillakangas, josta on tehty Ioncell-kuitua ja siitä edelleen tehtyä lankaa ja kangasnäytteitä. Kuva: Eeva Suorlahti.

Digitaalisten seuranta- ja tunnistusteknologioiden kehitys

FINIX-hanke edistää uusia skaalautuvia menetelmiä tekstiilien tunnistustietojen tallentamiseksi ja luo näin mahdollisuutta uusille kiertotalouden liiketoimintamalleille ja tekstiilipalveluille. Lisäksi hankkeessa kehitetään uusi informaation elinkaarimalli, joka mahdollistaa tekstiilien elinkaaritiedon integroinnin, hallinnan ja analysoinnin. Uusi digitaalinen tieto tarjoaa mahdollisuuksia rakentaa järjestelmä, jossa voidaan suunnitella tuotteiden käyttöikä, tuotteen kestävyys tavoitteellisen käyttöiän mukaan, toimenpiteet tuotteen käyttöiän päässä sekä jopa informoida kuluttajia tuotteen ominaisuuksista. Tämä on avaus kohti muutosta kuluttajien

käyttäytymisessä, sillä kuluttajien on tällä hetkellä vaikea tunnistaa korkean laadun pitkäikäiset tuotteet [64, 65]. Lisäksi hankkeessa tutkitaan hyperspektrisen kuvantamisen hyödyntämistä käytettyjen tekstiilien erottelemisessa hyötykäyttöön. Hyperspektrisillä kuvantamistekniikoilla pyritään tunnistamaan kriittisiä epäpuhtauksia tekstiileissä sekä määrittelemään tekstiilien laatua.

Systeminen liiketoimintamallien tarkastelu

FINIX-hankkeessa liiketoimintamalleja tutkitaan systemisestä näkökulmasta. Hanke pyrkii merkittävään edistysaskeleeseen nykyisistä kierrätystutkimuksista [1, 66, 67] kokonaisten tekstiilijärjestelmien muutosdynamiikan tuntemukseen. Hankkeessa kehitetään liiketoimintamalleja vähentyvän kulutuksen maailmaa varten sekä lisätään ymmärrystä hajautetuista ekosysteemeistä, joiden on todettu olevan tehokkaita organisaatiomuotoja kestävyysaasteiden ratkaisemiseksi [68], mutta jotka ovat jääneet keskitetysti organisoitujen ekosysteemien varjoon [69].

Kestävyysvaikutusten arviointi

FINIX-hanke antaa merkittävän panoksen tekstiilijärjestelmien kestävyuden tutkimukseen ja päätöksentekoon [70, 71]. Hankkeessa tutkitaan järjestelmätason vaikutuksia, joita uuden teknologian, materiaalien ja liiketoiminnan yhdistelmät tekstiilisysteemeissä aiheuttavat [72]. Tekstiilijärjestelmää koskettavien innovaatioiden ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioidaan myös luonnon monimuotoisuutta ja maankäyttöä koskevat kysymykset. Tietoja hyödynnetään skenaariomallissa, joka yhdistää elementtejä laadullisista skenaariomenetelmistä ja matemaattisesta järjestelmämallinnuksesta. Tämä voi olla onnistuessaan keskeinen metodologinen edistysaskel kestävyystieteessä ja väline, joka auttaa päätöksentekoa paremmin kuin nykyiset talousmallit ja tulevaisuuden skenaariot [73].

Vuorovaikutus ja viestintä

Vuorovaikutus ja viestintä –työpakettin tarkoituksena on laajentaa sidosryhmien ajattelua omasta toiminnasta kokonaisvaltaiseen systeemiajatteluun. Hanke tekee yhteistyötä viiden keskeisen sidosryhmän kanssa: yritykset ja etujärjestöt, päätöksentekijät, kansalaisjärjestöt ja -liikkeet, kuluttajat sekä akateeminen yhteisö. Toimenpiteiden avulla pyritään saavuttamaan kaksi pääasiallista vuorovaikutustavoitetta:

(1) Uusi kestävä tekstiiliteollisuus, jossa tekstiili- ja biotuoteteollisuuden, jätehuollon ja digitaalisten palveluntarjoajien rajapinnassa operoivilla suomalaisilla toimijoilla on tärkeä rooli globaalissa toimintaympäristössä.

2) Elinkaariset suunnittelustrategiat ja uudet liiketoimintamallit, jotka suosivat kestäviä tuotteita ja kiertotalouden mukaista tekstiilijärjestelmää.

Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi hanke synnyttää uusia kumppanuuksia eri alojen toimijoiden välillä. Viestinnällä luodaan yhteyksiä esimerkiksi poliitikkojen, suunnittelijoiden,

liike-elämän toimijoiden ja vloggareiden kesken. Näin voidaan löytää toimijoiden yhteisiä intressejä kestävien tekstiilisteemien teemasta ja lisätä aihepiiriin näkyvyyttä laajemman yleisön kuten kuluttajien ja kansalaisjärjestöjen edessä. Lähestymistapa tuo lisäarvoa vuorovaikutuskumppaneille, mutta tarjoaa myös empiiristä tietoa ja mahdollistaa tieteellisten tulosten saattamisen hyötykäyttöön [74].

Hankkeessa kiinnitetään erityistä huomiota konkreettisiin työkaluihin, joita vuorovaikutus voi tuoda osallistuville sidosryhmille. Jokainen työpaketti työskentelee läheisessä yhteistyössä yrityskumppaneiden kanssa ja osallistuu julkiseen keskusteluun mediassa ja sosiaalisessa mediassa. Hankkeen tulokset levitetään tiedeyhteisölle keskeisten tiedekonferenssien, akateemisten lehtien sekä hankkeen kannalta keskeisten tutkimusverkostojen kautta. Lisäksi tiedekeskus Heureka laatii hankkeen keskeisistä tuloksista suurelle yleisölle suunnatun interaktiivisen näyttelyn.

Lähteet

- [1] Ellen MacArthur Foundation. (2017). A new textiles economy: Redesigning fashion's future.
- [2] European Parliament. (2014). Workers' conditions in the textile and clothing sector: just an Asian affair?
- [3] The Fiber Year Consulting. (2019). The Fiber Year 2019 – World Survey on Textiles and Nonwovens.
- [4] Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M. (2019). Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, 248, 1028-1035.
- [5] Cesa, F. S., Turra, A., & Baruque-Ramos, J. (2017). Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Science of The Total Environment*, 598, 1116-1129.
- [6] Sillanpää, M., & Sainio, P. (2017). Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23), 19313-19321.
- [7] Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological economics*, 60(1), 186-203.
- [8] Kavi, P. I., Amarnath, J. S., & Sivasankari, B. (2018). Economic and environmental impact of pesticide use in conventional cotton and bt cotton. *Economic Affairs*, 63(2), 425-431.
- [9] Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 260-274.
- [10] Michud, A., Tantt, M., Asaadi, S., Ma, Y., Netti, E., Kääriäinen, P., Persson, A., Berntsson, A., Hummel, M., & Sixta, H. (2016). Ioncell-F: ionic liquid-based cellulosic textile fibers as an alternative to viscose and Lyocell. *Textile research journal*, 86(5), 543-552.
- [11] Heikkilä, P. (Ed.), Cura, K., Heikkilä, J., Hinkka, V., Ikonen, T., Kamppuri, T., ... Harlin, A. (2019). *Telaketju: Towards Circularity of Textiles*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report, No. VTT-R- 00062-19.
- [12] Energiateollisuus ry. (2015). Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa. Saatavissa: https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf
- [13] Wanassi, B., Azzouz, B., & Hassen, M. B. (2016). Value-added waste cotton yarn: Optimization of recycling process and spinning of reclaimed fibers. *Industrial crops and products*, 87, 27-32.
- [14] Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.
- [15] Asaadi, S., Hummel, M., Hellsten, S., Härkäsalmi, T., Ma, Y., Michud, A., & Sixta, H. (2016). Renewable high-performance fibers from the chemical recycling of cotton waste utilizing an ionic liquid. *ChemSusChem*, 9(22), 3250-3258.

- [16] Haslinger, S., Hummel, M., Anghelescu-Hakala, A., Määttänen, M., & Sixta, H. (2019). Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers. *Waste Management*, 97, 88-96.
- [17] Haslinger, S., Wang, Y., Rissanen, M., Lossa, M. B., Tanttu, M., Ilen, E., ... & Sixta, H. (2019). Recycling of Vat and Reactive Dyed Textile Waste to New Colored Man-Made Cellulose Fibers. *Green Chemistry*, 21, 5598-5610.
- [18] Kumar, V. (2017). Exploring fully integrated textile tags and information systems for implementing traceability in textile supply chains. Doctoral Dissertation.
- [19] Lee, H., Kim, J., Kim, H., Kim, J., & Kwon, S. (2010). Colour-barcoded magnetic microparticles for multiplexed bioassays. *Nature materials*, 9(9), 745.
- [20] Hayward, T. J., Hong, B., Vyas, K. N., Palfreyman, J. J., Cooper, J. F. K., et al. (2010). Magnetic micro-barcodes for molecular tagging applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(17), 175001.
- [21] Paunescu, D., Stark, W. J., & Grass, R. N. (2016). Particles with an identity: Tracking and tracing in commodity products. *Powder technology*, 291, 344-350.
- [22] Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(1), 43.
- [23] Nußholz, J. L. (2017). Circular business models: Defining a concept and framing an emerging research field. *Sustainability*, 9(10), 1810.
- [24] Bhardwaj, V., & Fairhurst, A. (2010). Fast fashion: response to changes in the fashion industry. *The international review of retail, distribution and consumer research*, 20(1), 165-173.
- [25] Wallace, S., Kench, B. T., & Mihm, B. (2012). Coordination Costs and Firm Boundaries: A Tale of Two Supply Chains in the Apparel Industry, 13(3), 73–74.
- [26] Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.
- [27] Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular business model innovation: inherent uncertainties. *Business strategy and the environment*, 26(2), 182-196.
- [28] Bidmon, C. M., & Knab, S. F. (2018). The three roles of business models in societal transitions: New linkages between business model and transition research. *Journal of Cleaner Production*, 178, 903–916.
- [29] Tihanyi L., Graffin S., & George, G. (2014). Rethinking governance in Management Research. *Academy of Management Journal*, 67(6), 1535-1543.
- [30] Provan K.G., & Kenis, P. (2007). Modes of network governance: Structure, management, and effectiveness. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(2), 229–252.

- [31] Klein, P.G., Mahoney, J.T., McGahan, A.M., Pitelis, C.N., (2012). Who is in charge? A property rights perspective on stakeholder governance. *Strategic Organization*, 10, 304–315.
- [32] Reuer, J.J., & Devarakonda, S.V. (2016) Mechanisms of hybrid governance: Administrative committees in non-equity alliances. *Academy of Management Journal*, 59(2), 510–533.
- [33] Provan, K.G., & Kenis, P. (2007) Modes of network governance: Structure, management, and effectiveness. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(2), 229–252.
- [34] Jacobides, M.G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39, 2255–2276.
- [35] Wareham, J., Fox, P. B., Cano Giner, J. L. (2014). Technology ecosystem governance. *Organization Science*, 25(4), 1195–1215.
- [36] Bowen, F.E., Bansal, P., & Slawinski, N., (2018). Scale matters: The scale of environmental issues in corporate collective actions. *Strategic Management Journal*, 39 (5), 1411–1436.
- [37] Doh, J., Tashman, P., & Benischke, M. (2019). Adapting to grand environmental challenges through collective entrepreneurship. *Academy of Management Perspectives*, in press.
- [38] Patala, S., Albareda, L. & Halme, M. (2018). Polycentric governance for privately-owned resources in circular economy systems. *Academy of Management*. 2018 Best paper proceedings.
- [39] Buchel, S., Roorda, C., Schipper, K., & Loorbach, D. (2018). The transition to good fashion. Saatavissa: https://drift.eur.nl/wp-content/uploads/2018/11/FINAL_report.pdf.
- [40] Moilala, O. (2010). Ostoja etelästä ja hikipajoista. Kotimaisten vaate- ja urheiluyritysten sosiaalinen ja ympäristövastuu. Seurantaraportti 2009.
- [41] UNRISD Flagship report 2016. Policy Innovations for Transformative Change. Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development. Saatavissa: [http://www.unrisd.org/80256B42004CCC77/\(httpInfoFiles\)/2D9B6E61A43A7E87C125804F003285F5/\\$file/Flagship2016_FullReport.pdf](http://www.unrisd.org/80256B42004CCC77/(httpInfoFiles)/2D9B6E61A43A7E87C125804F003285F5/$file/Flagship2016_FullReport.pdf)
- [42] Antikainen, R., Lähtinen, K., Leppänen, M., & Furman, E. (2013). Vihreä talous suomalaisessa yhteiskunnassa. Ympäristöministeriön raportteja 1/2013. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/41446>
- [43] Simons, M., Honkatukia, J., Antikainen, R., Hippinen, I., Merenheimo, T., Lehtomaa, J., Kautto, P., Mikkola, M., Tikkanen, S., Salmenperä, H. (2018). Taloudelliset ohjaukeinoet kiertotalouden arvoketjuissa. *VSTJ* 54/2018. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-605-8>
- [44] Sorsa, K. (2019). Vastuullisuusmerkit sääntelyinstrumenttina. *Defensor Legis* 4/2019, 579-595.

- [45] Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila, J., & Salminen, J. (2016). Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjaukset ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. VSTJ 25/2016. Saatavissa: <https://vnk.fi/julkaisu?pubid=11902>
- [46] Michie, S., van Stralen, M. M., & West, R., 2011. The Behaviour Change Wheel: A new method for characterizing and designing behavior change interventions. *Implementation Science*, 6, 42. Saatavissa: https://www.implementation.eu/sites/default/files/resources/behaviour_change_wheel.pdf.
- [47] Pelkams, J., & Renda, A. (2014). How can EU legislation enable and/or disable innovation? Saatavissa: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/39-how_can_eu_legislation_enable_and-or_disable_innovation.pdf
- [48] Sorsa, K. (2011). Kansainvälisen kaupan arvoketjujen sääntely. Yhteiskuntavastuun ja ennakoivan oikeuden tarkastelua. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja C, osa 320.
- [49] Demos Helsinki & Avanto Helsinki, (2015). Design for Government – kokeiluilla ihmislähtöistä ohjausta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, 7/2015.
- [50] Sorsa, K., (2016). Yksityisen sääntelyn kehitys kansainvälisissä arvoketjuissa. *Oikeus* 2016 (45), 2:201-223.
- [51] Sorsa, K. (2019). Challenges in transition to global sustainable production and consumption – behavior Change Wheel and Collective Impact – approaches facilitating the transition process. In: Kar, R. N. and Tiwari, K. (eds.). *Towards a sustainable future: Cross-cultural strategies, practices and advancements*. Bloomsbury Publishing India. New Delhi.
- [52] Armstrong, H. & Gorst, C. & Rae, J. (2019). Renewing Regulation. ‘Anticipatory Regulation’ in an age of disruption. NESTA.
- [53] Sorsa, K. (2011). Kansainvälisen kaupan arvoketjujen sääntely. Yhteiskuntavastuun ja ennakoivan oikeuden tarkastelua. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja C, osa 320.
- [54] Aalto University. (2019). Enter the new era of textile production! [online]. <https://ioncell.fi/>
- [55] Colvin, J., Blackmore, C., Chimbua, S., Collins, K., Dent, M., Goss, J., Ison, R., Roggero, P. P. & Seddaiu, G. (2014). In search of systemic innovation for sustainable development: A design praxis emerging from a decade of social learning inquiry. *Research Policy*, 43(4), 760-771.
- [56] Gudowsky, N., & Sotoudeh, M. (2017). Into blue skies—a transdisciplinary foresight and co-creation method for adding robustness to visioning. *NanoEthics*, 11(1), 93-106.
- [57] Niinimäki, K. (2018). YABBA DABBA DOO: Boosting Multidisciplinary Innovation through Design-driven Approach. Academic Design Management Conference: Next Wave, London.
- [58] Sanders, E. B. N. & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *Co-design*, 4(1), 5-18.
- [59] Ketonen-Oksi, S., & Valkokari, K. (2019). Innovation Ecosystems as Structures for Value Co-Creation. *Technology Innovation Management Review*, 9(2).

- [60] Juntunen, J. K., Halme, M., Korsunova, A., & Rajala, R. (2019) Strategies for Integrating Stakeholders into Sustainability Innovation: A Configurational Perspective. *Journal of Product Innovation Management*, 36(3), 331–355.
- [61] Loiseau, E., Saikku, L., Antikainen, R., Droste, N., Hansjürgens, B., Pitkänen, K., Leskinen, P., Kuikman, P. & Thomsen, M. (2016). Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361–371.
- [62] Ayres, R.U. & Ayres, L. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*.
- [63] Asaadi, S., Hummel, M., Hellsten, S., Ma, Y., Michud, A. & Sixta, H. (2016). Renewable high-performance fibres from the chemical recycling of cotton waste utilizing an ionic liquid. *ChemSusChem*, 22, 3250–3258.
- [64] European Parliament. (2014). Workers' conditions in the textile and clothing sector: just an Asian affair?
- [65] Sitra. (2016). Forest-based loops. Leading the cycle – Finnish roadmap to a circular economy 2016–2025. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/28142644/Selvityksia121.pdf>
- [66] Turku University of Applied Sciences. (2019) About Telaketju [online]. <https://telaketju.turkuamk.fi/telaketju-2/>
- [67] Trash-2-Cash. (2019). New fibres from pre-consumer and post-consumer waste. <https://www.trash2cashproject.eu/>
- [68] Valente, M., & Oliver, C. (2018). Meta-Organization Formation and Sustainability in Sub-Saharan Africa. *Organization Science*, 29, 678–701
- [69] Fjeldstad, Ø.D., Snow, C.C., Miles, R.E., & Lettl, C. (2012). The architecture of collaboration. *Strategic Management Journal*, 33, 734–750.
- [70] Roos, S., Zamani, B., Sandin, G., Peters, G. M., & Svanström, M. (2016). A life cycle assessment (LCA)-based approach to guiding an industry sector towards sustainability: the case of the Swedish apparel sector. *Journal of Cleaner Production*, 133, 691–700.
- [71] Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling—A review. *Journal of cleaner production*, 184, 353–365.
- [72] Brandt, P., Ernst, A., Gralla, F., Luederitz, C., Lang, D.J., Newig, J., Reinert, F., Abson, D.J., & von Wehrden, H. (2013). A review of transdisciplinary research in sustainability science. *Ecological Economics*, 92, 1–15.
- [73] Rinaudo, J.-D., Maton, L., Terrason, I., Chazot, S., Richard-Ferroudji, A. & Caballero, Y. (2013). Combining scenario workshops with modeling to assess future irrigation water demands. *Agricultural Water Management*, 130, 103–112.
- [74] Nissilä, H. (2015). Conferences as sequential arenas for creating new sustainable fields. *Industry and Innovation*, 22(3), 209–228.
- KUVAT: Ioncell: Eeva Suolahti; vaatteita kaupassa: Flickr käyttäjä allispossible.org.uk, CC Attribution license, muokattu; tehdas: Flickr käyttäjä Danijel-James Wynard, CC Attribution license, muokattu; öljyriutta: Flickr käyttäjä David Wilson, CC Attribution license, muokattu; puuvilla: Flickr käyttäjä Edgar Pierce, CC Attribution license, muokattu; kontit: Flickr käyttäjä Glyn Lowe

PhotoWorks, CC Attribution license, muokattu; riisipelto: Flickr käyttäjä Melanie_ko, CC Attribution license, muokattu; puut: Flickr käyttäjä Outdoors Finland, , CC Attribution license, muokattu.