



Jakob Donner-Amnell

Puunjalostuksen ja muun materiaalityönteollisuuden siirtymän edellytykset, esteet ja näkymät

Donner-Amnell J. (2025). Puunjalostuksen ja muun materiaalityönteollisuuden siirtymän edellytykset, esteet ja näkymät. Metsätieteen aikakauskirja 2025-24021. Tieteen tori. 11 s. <https://doi.org/10.14214/ma.24021>

Yhteystiedot Itä-Suomen yliopisto, Historia- ja maantieteiden laitos, Yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunta, Joensuu

Sähköposti jakob.donner-amnell@uef.fi

Hyväksytty 14.1.2025

Energiatuotannon, liikenteen ja yhteiskunnan muunkin toiminnan *siirtymä* kestäväan, vähäfossiiliseen suuntaan on ollut politiikan ja talouden ykkösaiheita viime vuosina. Metsien käytön ja jalostuksen eli metsäbiotalouden siirtymä on sen sijaan ollut Suomessa tavoitteena jo pitkään, vaikka juuri tätä sanaa ei ole käytetty. Paperituotannon kriisiytymisestä lähtien lähes kaikki metsien käyttöä ja puunjalostusta ohjaavat ja visioivat asiakirjat ovat kuitenkin tähänneets metsien kestäväan, monipuoliseen ja korkea-arvoiseen käyttöön niiden hyvinvoinnista, monimuotoisuudesta ja ilmastohyödyistä samalla huolehtien. Nämä tavoitteet ovat hyvin lähellä nykyistä ymmärrystä siirtymästä.

Metsäbiotalouden siirtymää onkin monin toimin pyritty Suomessa edistämään, koska siinä on katsottu olevan hyviä edellytyksiä koko tuotantoketjun arvon ja liiketoiminnan kasvuun sekä ilmatoroolin parantamiseen. Kovin hyvin nämä tavoitteet eivät kuitenkaan ole toteutuneet Suomen tai muun maailman metsäbiotaloudessa.

Mistä metsäbiotalouden siirtymässä on oikeastaan kyse, mitä edellytyksiä sille on, minkälaiset tekijät ovat sille esteenä ja mitä pitäisi tehdä tai tapahtua jotta siirtymä voisi vauhdittua? Tämä kirjoitus pyrkii vastaamaan näihin kysymyksiin hyödyntämällä monitieteistä tutkimusta siirtymästä erityisesti materiaalityönteollisuuden aloilla. Fokus on puunjalostuksessa metsäbiotalouden kokonaisuutta unohtamatta.

Puunjalostuksen siirtymää on syytä tarkastella rinnakkain muiden suurten materiaalityönteollisuuden alojen (mm. teräs- ja kemianteollisuuden) siirtymän kanssa, koska kaikissa näissä aloissa ja niiden asetelmissä on paljon yhteisiä piirteitä. Alan siirtymää on syytä tarkastella globaalissa toimintaympäristössään. Siinä eri maiden puunjalostus kilpailee muiden maiden ja muiden alojen kanssa niin vanhoista kuin uusistakin tuotemerkkinoista. Huomiota on syytä kiinnittää politiikkaan eri tasoilla, koska se on olennainen tekijä siirtymän raamittajana. Lisäksi hyödynnetään ennakoivia siirtymän kulkusuuntien ja niihin vaikuttavien tekijöiden hahmottamiseen. Näiden näkökulmien relevanssi puunjalostuksen siirtymän puitteiden ymmärtämisen kannalta on viime vuosina kasvanut.

Mikä on siirtymä ja miten se tapahtuu?

Ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävää talous- ja yhteiskuntakehitystä on tavoiteltu jo pian neljä vuosikymmentä. Mitä uutta (kestävyys)siirtymän käsite ja siirtymän ilmentymät reaalityodellisuudessa (energiantuotannossa, liikenteessä, materiaalitytuotannossa jne.) tuovat tähän keskusteluun?

Yhden määritelmän mukaan (kestävyys)siirtymä tai (kestävyys)murros tarkoittaa yhteiskunnan jonkin osa-alueen toimintatavan perusteellista muutosta tai murrosta tavalla, joka edesauttaa kestävyystavoitteiden saavuttamista. Tämä tapa määritellä ja hahmottaa kestävä kehitys osin uudestaan, yksittäisten toimialojen ja toimintojen murrosten kautta, ei ensisilmäyksellä vaikuta kovin mullistavalta. Siirtymätutkimus on kuitenkin 2000-luvun kuluessa kasvanut suureksi, monitieteiseksi ja kansainväliseksi suuntaukseksi, jonka eräs kokoava voima on laajaksi kasvanut Sustainability Transitions Research Network.

Siirtymätutkimuksen käsitteitä, metodeja ja tuloksia on 2010-luvun puolestavälistä lähtien alettu hyödyntää hallinnossa, konsultoinnissa, liike-elämässä ja politiikassa. Yksi keskeinen syy tähän on, että siirtymätutkimus kuvaa ja analysoi siirtymän etenemistä ja esteitä toimialakohtaisesti uusien ja vanhojen ratkaisujen, teknologioiden ja toimijoiden välisenä kamppailuna. Tämä havainnollistaa muutosprosesseja, jolloin niitä voidaan paremmin ymmärtää ja edistää.

Siirtymätutkimuksen lähtökohta oletus on, että toimialamuutokset ovat yleensä hitaita, koska pitkän ajan kuluessa vakiintuneet toimintamallit (regiimit) hallitsevat suurta osaa toimialoista. Etenkin teollisilla toimialoilla hallitseva toimintamalli tarkoittaa yleensä suurten yritysten melko yhteneväistä toimintatapaa. Siirtymätutkimus on paljolti keskittynyt sen selvittämiseen, minkälaiset yhdistelmät tekijöitä ovat saaneet tai voisivat saada aikaan siirtymän nopeutumista eri aloilla.

Ideaalitytapauksessa siirtymä voi olla nopea, koska moni tekijä toimii samaan suuntaan. Tällöin esimerkiksi markkinoiden, teknologian ja politiikan tuottama paine murentaa regiimin taloudellista perustaa ja samalla nousee esiin uusia mahdollisuuksia. Jos regiimillä on kykyä ja tahtotilaa hyödyntää niitä tai jos uudet toimijat pystyvät siihen yhtä hyvin tai paremmin, siirtymä voi olla nopea ja johtaa vanhan regiimin muuttumiseen, hajoamiseen tai korvautumiseen uudella. Jos painostavia ja houkuttavia tekijöitä on vähemmän ja vanhojen ja uusien toimijoiden kyky hyödyntää tilanne on vähäisempi, siirtymäpolut ovat erilaisia ja hitaampia.

Aluksi siirtymätutkimus keskittyi energiantuotantoon, liikenteeseen ja materiaalien kiertoon, koska niiden siirtymäkehitys näytti lupaavalta nopean teknologisen kehityksen ja kiristyvän ilmasto- ja ympäristöpolitiikan takia. Kun näiden alojen siirtymä todellisuudessa eteni joissakin maissa kohtuullisen hyvin ja joissakin ei, siirtymätutkimus alkoi enemmän painottua tarkastelemaan epätasaista kehitystä selittäviä tekijöitä niin eri maiden kuin monilla toimialoilla vaikuttavien globaalien rakenteidenkin tasolla. Samalla tutkimus alkoi laajeta koskemaan aloja, joiden siirtymäkehitys oli hidasta.

Ajan oloon siirtymätutkimuksessa on syventynyt ymmärrys siitä, miten tietyn toimialan siirtymään tietyssä maassa voi usein vaikuttaa toimialaa hallitseva globaali regiimi. Näin on etenkin, jos globaali toimialaregiimi on vahva, yhtenäinen ja toimijarakenteeltaan keskittynyt, mikä materiaalitytuotannon aloilla on tyypillistä. Myös toimialojen välinen kilpailu markkinoista, luonnonvarojen hintaan ja saatavuuteen liittyvät kysymykset sekä globaalin toimintaympäristön suuret käännteet (tuoreina esimerkkeinä koronapandemia ja sota Ukrainassa) voivat vaikuttaa siirtymäkehityksen suuntaan ja vauhtiin.

Siirtymätutkimuksen keskeiseksi aiheeksi on noussut vanhojen teollisuusalojen muutos vähäfossiiliseen suuntaan, koska ne ovat ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta keskeisiä ja niiden siirtymäedellytysten katsotaan parantuneen. Eri alojen siirtymänäkymien ja -haasteiden globaali tarkastelu ja vertailu sekä teknologisten muutospolkujen ja politiikkakeinojen tutkimus

on lisääntynyt. Selkeä ilmentymä tästä on vuonna 2020 perustettu Research Network on Industrial Decarbonisation.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että tietyn alan tai toiminnon siirtymän eteneminen tietyllä tasolla (paikallinen, kansallinen, kansainvälinen) riippuu siihen painostavien ja houkuttavien tekijöiden koosta ja niiden välisestä dynamiikasta. Eri toimijoiden (yritysten, toimialojen, maiden ja kansainvälisten instituutioiden) valmius ja toimijuus sekä toimialan globaalien toimintaympäristön puitteet ja käänteet joko jarruttavat tai mahdollistavat siirtymää.

Globaalin regiimin muutos on keskeinen syy Suomen puunjalostuksen vaisuun siirtymään

Suomen puunjalostuksen pitkään tavoiteltu, mutta vaisusti sujunut siirtymäkehitys voidaan nähdä oppikirjaesimerkkinä siitä, miten vaikeaa on saada globaaleilla markkinoilla toimivan alan siirtymä hyvin liikkeelle yhdessä maassa, jos alan globaali markkina ja regiimi kehittyvät eri suuntaan ja politiikka eri tasoilla ei juuri edistä uusien vähäfossiilisten tuotemerkkinoiden kasvua.

Kun Suomen puunjalostus joutui vakavaan kriisiin 2000-luvun alussa, moni painostava ja houkuttava tekijä näytti edistävän alan siirtymää. Vanhan tuotemerkkinan (etenkin painopaperin) supistuminen pakotti alan yrityksiä miettimään, mistä saataisiin liikevaihtoa menetetyllä tilalla. Samaan aikaan uudessa vähäfossiilisessa tuotemerkkinassa (kuten biopolttonesteissä) tuntui olevan nostetta. Puunjalostusyritysten strategioiden ja tuotekehityksen painopiste siirtyi ainakin jonkin verran uusien tuotteiden suuntaan.

Valtio tuki puunjalostuksen kilpailukykyä ja uudistumista monin keinoin, koska ala katsottiin tärkeäksi ja sen muutoksen nähtiin sisältävän huomattavaa potentiaalia alan arvon, ilmatoroolin ja yhteiskunnallisen merkityksen kasvuun. Tavoitellussa kehityksessä uusien korkea-arvoisten metsäpohjaisten tuotteiden esiinmarssi oli keskeisessä roolissa.

Suomen puunjalostuksen kehityksessä 2020-luvun alkuvuosiin asti voi nähdä paljon myönteisiä piirteitä. Alan talous on vakautunut, Suomessa on investoitu kokonaan uusiinkin tuotantolaitoksiin ja alan nykyään kartonkiin, selluun ja sahatavaraan painottuvan tuotevalikoiman kysyntä vientimarkkinoilla on melko vakaata.

Monista puunjalostukselle asetetuista siirtymätavoitteista on kuitenkin jääty ja osin on menty vastakkaiseen suuntaan. Alan inflaatiokorjattu liikevaihto ei ole kasvanut ja alan tuottama arvonlisäys on tavoitteen vastaisesti laskenut 2000-luvun alkuun nähden. Tärkein syy tähän on se, että puunjalostuksen tuotannon kokonaisuus koostuu nyt valtaosin tuotteista, joiden arvo per tonni on alempi kuin painopaperituotteilla. Uusien, korkea-arvoisten tuotteiden rooli alan liikevaihdon ja arvonlisäyksen kannalta on jäänyt vähäpätöiseksi. Alan ilmatorooli ei ole parantunut, koska metsänielu on tuntuvasti supistunut ja hiiltä pitkään varastoivien tuotteiden osuus ei ole noussut. Myös metsien käytön monimuotoisuushaasteet ovat säilyneet suurina.

Pohdittaessa Suomen puunjalostuksen vaisua siirtymäkehitystä selittäviä tekijöitä, toimialan ja suomalaisen yhteiskunnan toimien tarkastelun ohella on syytä kiinnittää huomiota puunjalostuksen globaalien markkinan ja toimintaympäristön muutoksiin. Siirtymään painostavat ja houkuttavat tekijät muuttuivat globaalilla tasolla oleellisesti melko lyhyen ajan sisällä, kutistaen täten mahdollisuuksia siirtymään. Vaikka paperikysynnän globaali supistuminen jatkui, muu vanha tuotemerkkina (etenkin kartongin ja sellun) kasvoi paljon Kiinan vedolla ja Suomen tälle markkinalle suunnattu vientituotanto kannatti hyvin.

Uusien vähäfossiilisten tuotteiden markkinat kehittyivät globaalisti sen sijaan heikosti. Poliittikan tavoitteet ja kannustimet niiden kasvattamiseksi eivät juuri vahvistuneet (kemian, raketin) tai muut kuin metsäpohjaiset tuotteet saivat uuden markkinan haltuunsa. Vähäfossiilisen

liikenteen markkinassa ajoneuvojen sähköistämisestä tuli hallitseva ratkaisu, ei biopolttoneista. Uusiutuvan energian tuotannon ja roolin kasvaessa bioenergia ei noussutkaan hallitsevaan rooliin, vaan aurinko- ja tuulivoima on ottamassa sen.

Suomen puunjalostuksen yritykset muuttuivat melko pian empiväisiksi uusien tuotteiden suhteen eivätkä panostaneet suuremmin niihin. Sen sijaan yritykset tarttuivat hanakasti ”uusvanhan” tuotemarkkinan globaaliin kasvuun, investoiden suurestikin uuteen kapasiteettiin myös Suomessa. Kaikkien havumetsävyöhykkeen maiden (Suomi, Ruotsi ja Kanada) puunjalostuksessa vahvistui 2020-luvun alkuun mennessä raaka-aineintensiivisempi, alhaisemman arvonalisäyksen liiketoimintamalli, vaikka tavoite on ollut päinvastainen. Globaalin markkinan muutos johti aieman länsi- ja painopaperivetoisen globaalin regiimin korvautumiseen Aasia- ja kartonkivetoisella regiimillä. Suomi ja muut paperinviejät olivat aiemmassa regiimissä keskeisiä toimijoita, uudessa regiimissä ne ovat pikemmin osa suurta alihankkijoiden joukkoa.

Siirtymä vauhdittuu ja valtavirtaistuu

Siirtymä on näkynyt energiantuotannon ja liikenteen muutoksina jo pitempään. Kaikkein nopeinta siirtymäkehitys on ollut viime vuosina. Samalla siinä on nähtävissä sen leviämistä ja valtavirtaistumista. Tämä kehitys on seurausta useista tekijöistä.

Ilmeisin tekijä on sota Ukrainassa. Se on huomattavasti lisännyt halua ja tarvetta irtautua etenkin Venäjän, mutta samalla muustakin fossiilienergiasta. Siihen liittyvän riippuvuuden riskit, Venäjän hyökkäyssodan vastustus ja energian korkea hinta ovat yhdessä huomattavasti nopeuttaneet energiasiirtymää.

Merkittävä tekijä on myös uusiutuvaa energiaa tuottavan ja hyödyntävän teknologian skaalautuminen, halventuminen ja leviäminen uusiin käyttökohteisiin. Aurinko- ja tuulivoima ovat kehittyneet halvimmiksi ja eniten kasvaviksi sähköntuotannon muodoiksi lähes kaikkialla. Sähköä varastoivat akut niin autojen kuin energijaarjestelmien käyttöön ovat myös merkittävästi halventuneet. Tämä seurauksena sähköautojenkin hinta on laskenut ja myynti lisääntynyt.

Kolmas tärkeä tekijä on suuret valtiovetoiset panostukset siirtymään. Selvin esimerkki on Kiina, jossa uusiutuva energia ja siihen liittyvät tuoteryhmät ovat nousseet maan investoinneissa, taloudessa ja viennissä keskeisiksi. Myös USA, EU ja monet sen jäsenmaista ovat käyttäneet paljon julkista rahoitusta siirtymään. Globaalissa taloudessa etulyöntiasemasta uusien tuoteryhmien markkinoilla käydään kilpaa Kiinan, Yhdysvaltojen ja Euroopan välillä. Monet muutkin alueet ja maat pyrkivät mukaan siirtymän kansainväliseen talouskilpaan.

Siirtymän kasvanut merkitys on alkanut näkyä myös kauppapolitiikassa ristiriitaisin tavoin. USA ja EU ovat asettaneet Kiinan sähköautoille tulleja epäreiluksi katsotun hintakilpailun (valtion-tuet) takia. EU on puolestaan kiristämässä päästökauppaa ja laajentamassa sitä uusille toimialoille samalla suojellen aloja tuontakilpailulta vuonna 2026 käyttöön otettavan CBAM-rajamekanismin ja sen hiilitullien avulla.

Siirtymän nopeutuminen näkyy myös globaalin päästökehityksen ja energiantuotantomuotojen tasolla. Hiilen käyttö on supistumassa, öljynkulutus kasvaa enää vähän ja uusiutuva energia kasvaa mittavasti. Moni maa on vähentänyt päästöjään paljon. Energiantuotannoltaan lähes fossiilittomia maita on jo, ja moni niistä lukeutuu ns. kehittyviin talouksiin. Silti Pariisin ilmastopimuksen tavoite lämpenemisen pysäyttämistä 1,5 asteeseen uhkaa ylittyä samalla kun ilmastomuutoksen konkreettiset seuraukset ovat olleet enemmän nähtävillä (tulvat, palot, kuivuus) ja maailman hiilinielut osoittavat heikkenemisen merkkejä.

Siirtymätutkimuksen termein voidaan uutta tilannetta kuvata niin, että siirtymään painostavat ja siihen houkuttavat tekijät ovat kummatkin voimistuneet. (Geo)politiikalla on ollut vahva rooli

teknologiassa, markkinassa, rahoituksessa ja luonnonvarojen hyödyntämisessä (uusiutuva energia, akkumineraalit) tapahtuneen kehityksen ja monien tahojen toimijuuden lisäksi.

Materiaalituotannon alojen kannalta olennaista on, että uusiutuvan energiatuotannon nopeutuvan ekspansioon nähdään huomattavasti parantavan vanhojen teollisuusalojen siirtymäedellytyksiä. Raskaan teollisuuden siirtymä on toki vasta alullaan ja vain pieni osa sen toimijoista on ottanut isoja askelia siihen suuntaan. Nyt näkyvien ennusmerkkien perusteella materiaalituotannon alat voivat olla siirtymän laajenemisen seuraavia pääkohteita.

Materiaalituotannon avainrooli siirtymässä

Globaalin siirtymän kannalta materiaalien tuotanto on avainroolissa. Siihen on ilmeisiä syitä. Niiden tuotanto on globaalisti energiantuotannon jälkeen suurin yksittäinen ilmastopäästöjen aiheuttaja 25–30 prosentin osuudella. Teollisuusaloista teräs, sementti ja kemia ovat globaalisti selvästi suurimmat päästölähteet (muoviteollisuus luetaan osaksi kemiaa). Useimmissa arvioissa kemiallinen metsäteollisuus (sellun, paperin ja kartongin tuotanto) on neljänneksi suurin päästölähde 1–2 prosentin osuudella (mekaaninen metsäteollisuus ei ole laskelmissa mukana). Tämä johtuu etenkin alan energiaintensiivisistä prosesseista ja pitkälti fossiilipohjaisesta raaka-aineen hankinta- ja lopputuotteiden kuljetusketjusta. Suurehkoja teollisia päästölähteitä ovat myös muiden metallien (mm. alumiinin), lasin ja keramiikan tuotanto, ruoka- ja juomateollisuus sekä tekstiiliteollisuus.

Näiden alojen päästöt per tonni ovat laskeneet, mutta niiden asettamat vähennystavoitteet ja päästöjen ennakoitu kehitys eivät ole lähelläkään riittäviä Pariisin ilmastopöytäkirjan näkökulmasta. Haasteellisuutta lisää, että alojen tuotanto on pääosin tarpeellista ja todennäköisesti kasvaa maailman väestönkasvun tahdissa etenkin kehittyvässä maissa. Suuri haaste on, että suurimpien päästöalojen raaka-aineissa, prosesseissa ja lopputuotteissa on paljon fossiilista hiiltä (kemia) tai kohtalaisesti (sementti, teräs). Monissa materiaalialojen tuotteissa (etenkin kemian, puunjalostuksen ja ruuantuotannon) hiili on kuitenkin välttämätön ja tärkeä ainesosa. Siksi on vähähiilisyys sijaan alettu puhua vähäfossiilisuudesta.

Materiaalialojen siirtymälle on silti teknologisia ja muitakin edellytyksiä. Esim. terästeollisuudessa sähköön perustuva valokaariuuniteknikka on jo melko laajasti käytössä, kuten rautaromun kierrätyskin. Betoni- ja sementtiteollisuudessa uusia vähäfossiilisia materiaaleja ja sidosaineita (esim. ligniiniä) on tutkittu jo pitempään ja niiden käyttö on alkanut kasvaa. Kemianteollisuudessa on käytetty biologisia raaka-aineita fossiilisten ohella pitkään (toki mittakaava on yhä suppea) ja kierrätysmuovi on nousemassa keskeiseksi raaka-aineeksi. Hiilidioksidin talteenoton ja jalostustuotteiden markkinoiden on arvioitu kasvavan huomattavan suuriksi 2035 jälkeen.

Eri mailla ja alueilla on huomattavan erilaiset edellytykset materiaalialojen siirtymän toteuttamiseen. Pohjois-Euroopan on katsottu kuuluvan hyvät edellytykset omaaviin, koska alueella on mm. edullista ja runsasta uusiutuvaa energiaa, laajat metsävarat ja paljon biogeenistä hiiltä, suuret mineraali- ja vesivarannot, hyvä sähköverkko ja viileä ilmasto.

Materiaalialojen siirtymäedellytysten arvioinneissa todetaan toistuvasti, että puunjalostuksen edellytykset ovat verrokkeja paremmat. Suuri osa alan käyttämästä energiasta on ei-fossiilista, ja toimiala on muita enemmän ottanut käyttöön sähköön ja lämmön yhteistuotantoa. Puunjalostuksen toimijoista osa onkin energian ja sähköön suhteen omavaraisia, koska niiden hallussa on eri yhdistelmiä bio-, tuuli-, vesi- ja ydinenergian tuotantokapasiteettia. Alan tuotanto myös perustuu pääosin uusiutuvaan raaka-ainepohjaan ja materiaalien kierrätysaste on korkea. Osa puunjalostuksen tuotteista, kuten puurakenteet myös varastoivat hiiltä pitkäksi aikaa.

Puunjalostuksen erityiseksi valitiksi siirtymässä on arvioitu alan prosessien sivuvirrat sekä biogeeninen hiilidioksidi. Kun puusta tehdään keittämällä sellua, puun ligniini täytyy poistaa

kemiallisesti. Globaalisti noin 70 milj. tonnia ligniiniä päätyy vuosittain mustalipeäkeitokseen, joka poltetaan energiaksi. Selluteollisuudessa syntyy vuosittain kaiken kaikkiaan yli 400 milj. tonnin hiilidioksidipäästöt, joista Suomessa n. 20 milj. tonnia. Ligniinin ja biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja jalostus pitävät sisällään huomattavan potentiaalin. Monikäyttöistä ligniiniä on tutkittu pitkään, mutta jalostuksen mittakaava on vielä pieni. Biogeeniselle hiilidioksidille voisi olla paljon käyttöä aloilla, joiden tuotteisiin välttämättä tarvitaan hiiltä. Tämä tarkoittaa suurta osaa kemiantuotannosta (mm. muovit, teollisuuskemikaalit, lannoitteet, synteettiset polttoaineet). Koska sellun tuotantoyksiköt ovat usein suuria ja niissä syntyvien savukaasujen hiilidioksidipitoisuus on korkea, talteenotto voi olla edullisempaa kuin muissa kohteissa.

Materiaalituotannon aloille on hahmoteltu useita teknologisia siirtymäpolkua:

1. Tuotannon ja energiakäytön tehokkuuden parantaminen sekä polttoainevaihdokset (esim. maakaasusta bioenergiaan ja sähköön)
2. Prosessien sähköistäminen ja hiilidioksidin jalostus
3. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi
4. Materiaalien kattava kierto
5. Biologisten raaka-aineiden ja sivuvirtojen käytön laajentaminen ja jalostuksen monipuolistaminen

Kaikissa arvioissa korostetaan, että kaikkien teknologisten siirtymäpolkujen tarjoamia ratkaisuja tarvitaan riittävien päästövähennysten saavuttamiseen. Joissakin arvioissa silti päätellään, että terästeollisuudessa sähköistäminen sekä vedyn käyttö (rautamalmin vetypelkistys) voivat nousta keskeiseen rooliin. Sementtiteollisuudessa vähennyksiä saataisiin parhaiten vähäfossiilisten raaka-aineiden käytöllä sekä hiilidioksidin talteenotolla. Kemianteollisuudessa avainkeinoja olisivat materiaalinkierätykset, biopohjaiset raaka-aineet sekä sähköistäminen. Vaikka alojen muutospoluissa on yhteisiä piirteitä, ne ovat myös keskenään erilaisia, joten yleisten toimien lisäksi tarvitaan myös spesifejä, alakohtaisia toimia.

Puunjalostuksen kohdalla siirtymän tärkeimpinä kehityssuuntina pidetään prosessien sähköistämistä, hiilidioksidin talteenottoa ja jalostusta sekä uusien, korkeamman arvonlisän tuotteiden kehittämistä tuotannon runsaista sivuvirroista (ligniini, hemiselluloosa). Suomessa Metsäbiotalouden tiedepaneeli on raportissaan ”Lankusta lääkkeisiin” (2024) arvioinut, että Suomen puunjalostuksen arvonlisä voisi kasvaa 80 prosenttia puunkäytön kasvamatta tällaisen kehityssuunnan ja nykyisten tuotteiden jalostusarvon noston avulla.

Materiaalituotannon siirtymän esteet

Kun siirtymäpolkujen toteutumisen edellytyksiä ja todennäköisyyttä on arvioitu eri indikaattoreita käyttäen, kokonaiskuva ei ole kovin ruusuinen. Monien polkujen teknologinen kypsyys ei ole riittävällä tasolla, saati niiden integroituminen nykyisiin teollisiin rakenteisiin, yhteiskunnallinen hyväksyttävyyden ja eteenpäinvienti politiikassa. Myös eri ratkaisujen päästövähennyspotentiaali, yhteensovittavuus kestävyystavoitteiden kanssa ja ratkaisujen kustannukset herättävät huolta.

Eräs keskeinen este on, että materiaalituotannon alat ovat ns. kypsiä, hitaasti muuttuvia, vain vähän kasvavia sekä kovan globaalin kilpailun ja pienten marginaalien aloja, jotka eivät aikoihin ole olleet talouden rakennemurrosten ja uusien mahdollisuuksien airueita. Näiden alojen yritysten on vaikea rahoittaa ja toteuttaa siirtymää, koska sen myötä niiden tuotantokustannukset kasvaisivat samalla kun kilpailija saattaa tuottaa saman määrän pienemmällä kustannuksella ja vähemmällä ilmastoperusteisilla rajoitteilla.

Materiaalialojen siirtymässä tarvitaan mittavasti uusiutuvaa sähköä sekä fossiilienergian korvaamiseen, vedyn tuotantoon, uusiin prosesseihin että hiilidioksidin talteenottoon ja jalostukseen. VTT on esimerkiksi arvioinut, että jos neljäsosa Suomen sellutehtaiden hiilidioksidista jalostettaisiin tuotteiksi, tarvittaisiin 11 miljardin euron investoinnit tuotantoteknologiaan ja yli 10 miljardin investoinnit sähkön tuotantoon ja siirtoon. On vaikea kuvitella, että materiaaalialat pystyvät yksin näin mittaviin panostuksiin.

Keskeinen siirtymäeste on, että uusien vähäfossiilisten tuotteiden markkinat ovat vielä pienet ja niiden kasvua tukeva sääntely on vähäistä. Tämä on tilanne vanhoissa teollisuusmaissa ja vielä selvemmin monissa kehittyvissä talouksissa. Niissä esimerkiksi riippuvuus fossiilienergiasta, päästökaupan puuttuminen, vähäinen rahoitus ja heikko politiikkaympäristö vaikeuttavat siirtymää.

Materiaalialojen siirtymään liittyy myös geopoliittisia ja kansantaloudellisia haasteita. Etenkin suurimmat alat ovat monissa maissa tärkeitä. Alojen suuri rooli ja tarve pärjätä kansainvälisessä kilpailussa voi korostaa siirtymän tärkeyttä, mutta voi samalla hidastaa sitä, jos toimien pelätään maksavan liikaa tai vaarantavan niiden asemaa markkinoilla, taloutta ja työllisyyttä. Tämä dilemma on tuotu esiin muun muassa EU:n taloutta tarkastelleessa ns. Draghin raportissa vuonna 2024. Siinä korostetaan, että EU on jo menettänyt materiaalien tuotannossa asemiaan maailmanmarkkinoilla ja voi menettää lisää, jos EU-maat eivät erikseen ja yhdessä panosta riittävästi sekä niiden kilpailukykyyn että siirtymään.

Harva materiaalialan toimija on liikkunut suuresti siirtymän suuntaan. Poikkeuksiin kuuluvien ruotsalaisten rakenteilla olevien vihreän teräksen tehtaiden esimerkki valottaa hyvin sitä, minkälainen yhdistelmä tekijöitä voi olla tarpeen suurimittakaavaisen teollisen siirtymän toteutukseen. Yritykset ovat kyenneet kehittämään tarvittavan teknologian, hankkimaan yksityistä ja julkista rahoitusta, varmistamaan keskeiset raaka-aineet (mineraalit, sähkö, vesi) sekä rakentamaan tuotannolle markkinat asiakassopimuksilla. Olennaista myös on, että tuotannon avainresurssit ja yhteistyöalat (kaivos- ja energiateollisuus) sekä osa asiakkaista (ajoneuvoteollisuus) löytyvät Ruotsista. Teollisen siirtymän puitteet ovat toistaiseksi harvoin näin suotuisat, mutta osoittavat mitä sellaiset voivat saada aikaan.

Yllä kuvatut materiaalialojen yleiset haasteet koskevat puunjalostusta yhtä lailla. Vaikka puunjalostuksella on erityisiä edellytyksiä siirtymässä, sillä on siinä omat erityishaasteensa. Olenaisiin on metsien vähyys eli jalostukseen saatavan raaka-aineen niukkuus. Jo nykyisellään metsien teollisen käytön fyysiset rajat ovat maailmanlaajuisesti katsoen hyvin lähellä.

Jatkossa muutkin alat kuten kemian- ja terästeollisuus käyttäisivät mielellään paljon puuta tuotantonsa fossiiliriippuvuuden vähentämiseksi. Metsien tuntuva lisäkäyttö jalostukseen voisi kuitenkin tulla kyseeseen vain, jos pystyttäisiin merkittävästi vähentämään lihan ja bioenergian tuotantoon käytettyä metsäpinta-alaa. Siihen asti metsien vähyys ja niiden muiden käyttömuotojen tärkeys tarkoittavat sitä, että puunjalostuksen siirtymän täytyy hyvin pitkälle perustua nykyisen raaka-ainevolyymin jalostuksen monipuolistamiselle ja arvon nostolle. Myös metsien käytön hyväksyttävyyys edellyttää tätä.

Siirtymä tarvitsee sujuakseen kunnan puitteet

Koska materiaalialojen siirtymän esteet ovat suuria, tarvittaisiin niiden vähentämiseksi parempien puitteiden luomista politiikan keinoin niin kansainvälisesti kuin muillakin tasoilla. Tämä olisi perusteltua, koska tähän asti käytetyt keinot eivät ole saaneet niiden siirtymää juuri liikkeelle. Nyt tekeillä oleva talouden rakennemuutos vähäfossiilisuteen poikkeaa aiemmin tapahtuneista rakennemuutoksista siinä, että sillä on selvä tavoite ja tiukka aikataulu. Vuoteen 2050 mennessä

olisi kyettävä nettonollapäästöihin. Jotta tämä voisi onnistua, tarvitaan enemmän muutoksia ja laajempi paletti erilaisia politiikan toimia kuin jos olisi kyse rajatusta pulmasta.

Tutkimuksessa on viime vuosina korostettu sitä, että materiaalialojen siirtymää edistävän politiikan pitäisi rakentua kuuden pilarin varaan:

1. Yhteiskunnan kulkusuunnan osoittaminen. Selkeät ja uskottavat, lakeihin ja kansainvälisiin sopimuksiin kirjatut ilmastotavoitteet ja niitä tukevat toimet etenkin fossiilienergian alajajoksi ovat tärkeitä, jotta yritykset ja kotitaloudet tietävät missä mennään ja sitoutuvat osaltaan siirtymään.
2. Tiedon, innovaatioiden ja uusien ratkaisujen kehittäminen eri alojen välisenä yhteistyönä. Tämä olisi tärkeää materiaalialojen kannalta, koska niiden tuotekehityspanostukset ovat pieniä ja ne tuottavat materiaaleja pääosin muiden alojen käyttöön. Osaamisen ja inhimillisen pääoman lisäämiseen on myös panostettava.
3. Uusien markkinoiden luominen ja olemassa olevien uudistaminen on rakennemurroksissa tärkeää. Julkiset hankinnat, kiintiöt ja sertifikaatit ovat tärkeitä keinoja. Myös erityisen haitallisen toiminnan sanktiointi voi olla tarpeen.
4. Institutionaalisen kapasiteetin rakentaminen kansallisesti ja kansainvälisesti. Poliitikassa ja hallinnossa on vahvistettava osaamista ja kehitettävä työkaluja, jotta eri toimien toimivuutta ja rahoituksen kohdentumista kyetään hyvin arvioimaan ja keinovalikoimaa kehittämään tilanteen ja painopisteiden muuttuessa. Tämä on tärkeää myös politiikan ja rahoituksen läpinäkyvyyden ja hyväksyttävyyden kannalta.
5. Poliitiikan toimien ja rahoituksen kansainvälinen koordinointi. Hiilivuodon ja epäreilun kilpailun minimoiseksi sekä köyhimpien maiden edellytysten parantamiseksi tarvitaan kansainvälistä yhteistyötä ja sopimuksia. Eturivin maiden ja yritysten yhteenliittymät voivat olla tärkeitä vauhdittajia.
6. Kielteisten sosiaalisten ja taloudellisten seurausten ennakointi ja hallinta. Jotta siirtymä olisi sosiaalisesti oikeudenmukainen eikä synnyttäisi vastustusta, sen joillekin alueille, maille ja ihmisryhmille tuottamat menetykset on tunnustettava ja hallittava.

Kyseiset pilarit ovat jossain muodossa ja mittakaavassa olemassa monessa maassa ja kansainväliselläkin tasolla. Paljon on kuitenkin matkaa siihen, että kuvatut puitteet olisivat niin vahvat ja kattavat, että materiaalialojen siirtymä selvästi etenisi kaikkialla maailmassa.

Puunjalostuksella hyvät vai huonot kortit siirtymässä?

Materiaalialojen siirtymän eteneminen riippuu monesta tekijästä ja on vaikeasti ennakoitavissa. Vaikka niiden siirtymäesteissä on paljon samankaltaisuutta, puunjalostuksen kohdalla siirtymään painostavat ja houkuttavat tekijät saattavat olla jossain määrin verrokkialoja heikommat. Useille aloille päästökauppa- ja energiakustannukset ovat keskeisiä kirittäjiä, mutta puunjalostukseen ne eivät ole suuresti vaikuttaneet. Alan vanha tuotemarkkina kasvaa yhä. Metsien käytön sääntely on lisääntynyt ja saanut uusia muotoja, mutta itse puunjalostukselle ei eri maissa tai kansainvälisesti ole asetettu kovin tarkkoja tai velvoittavia siirtymätavoitteita. Uusien metsäpohjaisten tuotteiden markkinat ovat yhä suppeat, julkinen valta on toiminut laimeasti niiden kasvattamiseksi ja puunjalostus panostaa itse vain vähän uusiin tuotteisiin. Toisin kuin joillakin aloilla, puunjalostuksella ei ole radikaalisti tuotantoa muuttavaa prosessiteknologiaa odottamassa otollista hetkeä käyttöönottoon.

Jos puunjalostuksen siirtymän suuntaan ja vauhtiin vaikuttavissa tekijöissä ei tapahdu suurempaa muutosta, eteneekö alan siirtymä jatkossakin hitaasti koska ei ole tarpeeksi painavia syitä muuttaa nykymallia? Jos näin on, siirtymä saattaa edetä muilla materiaalituotannon aloilla nopeammin. Näin

saattaisi tapahtua siksi, että siirtymään painostavat (päästökauppa) ja houkuttavat (teknologiakehitys, markkina, rahoitus) tekijät ovat joidenkin alojen kohdalla vahvempia tai vahvistumassa.

Siirtymää edistävä politiikka ja rahoitus saattaa EU:ssa, USA:ssa ja Kiinassa keskittyä taloudellisesti puunjalostusta merkittävämpiin aloihin, kuten teräs- ja kemianteollisuuteen. Tällöin nämä saattavat saada haltuunsa suuren osan vähäfossiilisista tuotemarkkinoista ja siirtymän taloushyödyt saattavat painottua niihin maihin, joissa nämä alat ovat suuria. Muut alat saattaisivat myös hankkia itselleen osan puunjalostuksen tuotantoketjusta ja jalostuspotentiaalista. Voiko käydä esimerkiksi niin, että sellutehtaiden hiilidioksidin varastoinnista ja jalostuksesta tulee pikemmin energia- ja kemianteollisuuden liiketoimintaa kuin puunjalostuksen?

Monet tekijät voivat muuttaa globaalia toimintaympäristöä ja puunjalostuksen näkymiä

Materiaalialojen siirtymän esteet voivat jatkossa pysyä suurina, heikentyä tai muuttua muodoiltaan. Globaalia toimintaympäristöä voi muuttaa moni tekijä, geopolitiikasta ja ilmastonmuutoksesta alkaen. Tässä kuitenkin tarkastellaan joitakin kehityskulkuja, jotka voimistuessaan voivat muuttaa tilanteen suotuisammaksi erityisesti puunjalostuksen siirtymän etenemisen kannalta.

Euroopan ja Pohjois-Amerikan puunjalostus on uuden edessä metsien tilassa näkyvän muutoksen (palot, tuhot, hidastuva kasvu) ja Venäjän puuntuonnin pysähtymisen takia. Puunsaannissa on ollut suuria ongelmia ja hinta on kohonnut. Lyhyellä tähtämellä ala joutuu supistamaan toimintaansa, huonoimmassa tilanteessa olevat toimijat saattavat joutua lopettamaan sen. Pidemmällä tähtämellä puunjalostuksen on panostettava siihen, että nykyisestä tai pienemmästä raaka-ainemäärästä saadaan irti enemmän arvoa ja että ala pystyy myös hankkimaan uudenlaisia tulonlähteitä (esimerkiksi hiilen sidonnasta, monimuotoisuudesta, aurinko- ja tuulivoimasta maailaan, hiilidioksidin talteenotosta).

Metsätuotteiden globaali markkina ja regiimi saattavat muuttua puunjalostuksen siirtymää edistäväksi. Viimeisen 15 vuoden Kiina-, kartonki- ja selluvetoinen vaihe globaalissa metsätuote-kaupassa voi jäädä taakse ja korvautua uudella, jossa päämarkkinat ja -tuotteet eivät ole samat kuin nyt. Kiinassa puunjalostuksen rooli voi muuttua ja sen riippuvuus mm. selluntuonnista voi vähetä, mm. koska Kiina saattaa suuntautua nykyistä vahvemmin korkean teknologian tuotteisiin. Myös Euroopan ja Kiinan laskeva väestökehitys voi supistaa metsätuotteiden kansainvälistä markkinaa.

Jos viime vuosina toteutunut aurinko- ja tuulivoiman nopea kasvu jatkuu, puolet maailman sähköstä voi maailman energijärjestön IEA:n mukaan olla peräisin ei-fossiilisista lähteistä jo 2030 ja aurinkovoimasta voi tulla suurin yksittäinen sähkön lähde 2030-luvun alkuvuosina. Tämän seurauksena energiahinnat voivat laskea lähes kaikkialla ja fossiilisten käyttö vähetä. Vähäfossiilisen sähkön runsaus ja edullinen hinta voivat tuntuvasti nopeuttaa siirtymää. Materiaalialoilla otettaisiin herkemmin käyttöön uusia tuotantoprosesseja ja sähköistettäisiin lämmöntuotantoa. Vähäfossiiliset tuotemarkkinat voisivat kasvaa vauhdilla.

Puunjalostuksessa sähkö saattaisi syrjäyttää suuren osan bioenergian tuotannosta, mikä vapauttaisi paljon puuraaka-ainetta jalostukseen. Uusi tilanne mahdollistaisi kokonaan uutta liiketoimintaa, kuten biogeenisen hiilen talteenottoa ja jalostusta. Aurinko- ja tuulivoima voisi myös muuttaa maan ja metsien käytön ja omistuksen mallia tuomalla uutta tuloa monille tahoille (maanviljelijät, maanomistajat, maata omistavat metsä- ja muut yhtiöt, kunnat, valtiot).

Jos siirtymäpolitiikka pysyy heikohkona kansainvälisesti ja vain pieni osa maista toteuttaa sellaista, siirtymä voi edetä ontuvasti ja hajanaisesti. On kuitenkin hyvä muistaa, että viime vuosina nähty siirtymäkehityksen nopeutuminen pääosin selittyy muilla tekijöillä (esim. geopolitiikka, teknologiakehitys, siirtymätuotteiden markkinakasvu) kuin politiikan tuntuvalla vahvistumisella.

Siksi on mahdollista, että siirtymä lähimmän 5–10 vuoden aikana yhä etenee melko nopeasti, vaikka politiikka ei vahvistuisi tai osin pyrkisi sitä jarruttamaan. Jos siirtymäpolitiikka vahvistuisi kansainvälisellä tasolla ja lukuisissa maissa, siirtymä voi globaalisti edetä nopeastikin eri aloilla ja maissa.

Materiaalialojen ja puunjalostuksen siirtymän edellytykset saattavat parantua näiden tai muiden muutosten ja käänteiden kautta. Puunjalostukselle puun niukkuus ja vanhan tuotemarkkinan supistuminen voivat olla keskeisiä painostavia tekijöitä, kun taas tärkeimpiä houkuttavia tekijöitä voivat olla uusiutuvan sähkön edullisuus ja runsaus, vähäfossiilisen markkinan kasvu sekä hiilidioksidin talteenoton ja jalostuksen nopea markkina- ja teknologiakehitys. Jos muiden materiaalialojen siirtymä etenee, aletaanko puunjalostuksen keskeisissä tuottajamaissa, kuten Suomessa aktiivisesti suunnitella ja riittävän suurin panostuksin edistää alan siirtymää sen markkinanäkymien edistämiseksi? Kiintoisaa on myös se, missä määrin ja missä maissa puunjalostuksessa nähdään joillakin materiaalialoilla esiintyvää yritysten rohkeaa toimijuutta ja liikkeellelähtöä siirtymän toteuttamiseksi.

Lopuksi

Materiaalialojen siirtymä kestäväan, vähäfossiiliseen suuntaan on välttämätöntä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Sille on kasvavasti edellytyksiä ja siihen sisältyy myös mahdollisuuksia näiden alojen arvon ja merkityksen kasvuun. Esteet ovat silti yhä suuria eivätkä materiaalialojen resurssit yksin riitä niiden voittamiseen. Sujuvaan siirtymään tarvitaan laaja ja vahva valikoima politiikan toimia sekä kansainvälisellä että kansallisella tasolla mm. asettamaan tavoitteita, rahoittamaan sen toteutuksessa tarvittavia toimia ja luomaan uusia markkinoita pelisääntöineen.

Jos materiaalialojen siirtymää edistävät poliittiset puitteet ja muut kehityskulut vahvistuvat ja eri tahot toimivat sen eteen, niiden siirtymä taloushyötyineen voi edetä suhteellisen nopeasti ja laajalti. Jos siirtymää edistävät puitteet ja kehityskulut sen sijaan pysyvät melko heikkoina ja eri tahojen toimijuus vaihtelee, siirtymä saattaa edetä hitaasti, lähinnä siihen viisaimmin panostavien alojen, yritysten ja maiden panostusten varassa. Jos esimerkiksi EU, Suomi ja puunjalostus eivät kuulu tähän joukkoon, siirtymä taloushyötyineen saattaa painottua muille aloille ja alueille. Selvää ainakin on, että siirtymä ei millään alalla tai alueella tapahdu itsestään, vaan sen eteneminen edellyttää päättäväisyyttä, puitteiden luomista ja panostuksia.

Rahoitus

Työtä artikkelin parissa on osin rahoittanut Strategisen tutkimusneuvoston rahoittama Itä-Suomen yliopiston hanke (päättönumero 358974), joka on osa LUT:in koordinoimaa PHOENIX-hanketta.

Lähteitä

Andersen AD, Wicken O (2020) Making sense of how the natural environment shapes innovation, industry dynamics, and sustainability challenges. *Innov Dev* 11: 91–117. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2020.1770975>.

Andersson FNG, Bauer F, Nilsson LJ (2024) Politikens roll för näringslivets klimatomställning. SNS Förlag, Stockholm. <https://snsse.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2024/04/politikens-roll-for-naringslivets-klimatomstallning.pdf>.

Bauer F, Hansen T, Nilsson LJ (2022) Assessing the feasibility of archetypal transition pathways towards carbon neutrality – a comparative analysis of European industries. *Resour Conserv*

- Recycl 177, article id 106015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106015>.
- Bulkeley H, Stripple J, Nilsson LJ, van Veelen B, Kalfagianni A, Bauer F, van Sluisveld M (2022) Decarbonising economies. Elements in Earth System Governance, Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/9781108934039>.
- Diesing P, Lopez, G, Blechinger P, Breyer C (2024) From knowledge gaps to technological maturity: a comparative review of pathways to deep emission reduction for energy-intensive industries. Renew Sustain Energy Rev 208, article id 115023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115023>.
- Donner-Amnell J (2022) Miksi Suomen metsäsektorin transformaatio on ollut vaikeaa? Vuosilusto 14: 66–87. <https://lusto.fi/wp-content/uploads/2022/12/Lusto-Vuosilusto14.pdf>.
- Ericsson K, Nilsson LJ (2018) Climate innovations in the paper industry: prospects for decarbonisation. IMES/EESS report 110, Lund University, Department of Technology and Society, Lund. https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/53222132/Climate_innovations_in_the_paper_industry_IMES_report_110.pdf.
- Fuenfschilling L, Binz C (2018) Global socio-technical regimes. Res Policy 47: 735–749. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.02.003>.
- Furszyfer Del Rio DD, Sovacool BK, Griffiths S, Bazilian M, Kim J, Foley AM, Rooney D (2022) Decarbonizing the pulp and paper industry: a critical and systematic review of sociotechnical developments and policy options. Renew Sustain Energy Rev 167, article id 112706. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112706>.
- Hurmekoski E, Hetemäki L, Jänis J (2022) Outlook for the forest-based bioeconomy. Julkaisussa: Hetemäki L, Kangas J, Peltola H (toim) Forest bioeconomy and climate change. Managing Forest Ecosystems 42: 55–89, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4_4.
- Kanger L, Sovacool BK, Noorkõiv M (2020) Six policy intervention points for sustainability transitions: a conceptual framework and a systematic literature review. Res Policy 49, article id 104072. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104072>.
- Kim J, Sovacool BK, Bazilian M, Griffiths S, Yang M (2024) Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: a systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options. Energy Res Soc Sci 112, article id 103521. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103521>.
- Löfgren Å, Ahlvik L, van den Bijgaart I, Coria J, Jaraite J, Johnsson F, Rootzen J (2024) Green industrial policy for climate action in the basic materials industry. Climatic Change 177, article id 147. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03801-7>.
- Mäkikouri S, Kujanpää L, Lehtonen J, Heikkinen N, Linjala O, Jutila E, Koponen K, Reinikainen M (2024) Selvitys hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön kansallisesta ilmasto- ja talouspotentiaalista. VTT Asiakasraportti VTT-CR-00468-24, Teknologiateollisuus ry, Helsinki. https://teknologiateollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/09/VTT-projektiraportti_Selvitys-hiilidioksidin-talteenoton-ja-hyotykayton-potentiaalista.pdf.
- Pihlainen S, Karhinen S (2024) Oikeudenmukainen siirtymä metsäalalla. Julkaisussa: Korhonen JM (toim) Oikeudenmukainen siirtymä Suomessa 2025. Kalevi Sorsa -säätiö, Helsinki, s. 79–105. <https://sorsafoundation.fi/wp-content/uploads/oikeudenmukainen-siirtyma-suomessa-2025.pdf>.
- van Sluisveld M, de Boer HS, Daioglou V, Hof AF, van Vuuren DP (2021) A race to zero – assessing the position of heavy industry in a global net-zero CO₂ emissions context. Energy Clim Change 2, article id 100051. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2021.100051>.
- Sovacool BK, Bazilian MD, Kim J, Griffiths S (2023) Six bold steps towards net-zero industry. Energy Res Soc Sci 99, article id 103067. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103067>.
- Österberg M, Karjalainen M, Lintunen J, Tammelin T, Asikainen A, Vakkilainen E, Toivonen R, Virta P, Henn A, Nuutinen E-M, Kohl J, Hassinen J (2024) Lankusta lääkkeisiin. Tuoteportfolion arvonnoususta uutta arvonnollisää metsäsektorille. Metsäbiotalouden tiedepaneelin raportti 1/2024. Metsäbiotalouden tiedepaneeli, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-65456-0-8>.