

Tulevaisuuskompassi: Miten luodaan menestyvä metsäelinkeino 2050?

VTT:n tutkimushankkeessa kehitetty työkalu
tulevaisuusajattelun tueksi.

Rahoittaja Suomen Metsäsäätiö

Tiina Apilo ja Anu Nousiainen, VTT



Lukijalle

Mikä Tulevaisuuskompassi on?

Tulevaisuuskompassi kokoaa tutkimustietoa ja erilaisia näkemyksiä aineistoksi, jonka pohjalta jokainen toimija muodostaa omat johtopäätöksensä. Yhteinen työskentely auttaa tunnistamaan jaettuja kysymyksiä, mahdollisuuksia ja yhteistyön paikkoja.

- Työkalu murroskohtien ja vaihtoehtojen tulevaisuuksien tunnistamiseen
- Nykyisten oletusten haastaja
- Käytännön opas tulevaisuustiedon viemiseksi toimintaan
- Visioihin kytkeytyvien ratkaisujen tietopankki
- Nykyisten strategioiden ja toimintamallien happotesti
- Yhteisen tulevaisuuskeskustelun virittäjä

Raportin keskeiset työskentelyosat ovat tulevaisuussignaalit, oppimisskenaariot ja visiot. Signaalit auttavat tunnistamaan muutoksen varhaisia merkkejä, oppimisskenaariot avaavat vaihtoehtoisia kehityskulkuja ja visiot jäsentävät toivottavia uudistumisen suuntia.

Raportissa on mukana myös jännitteisiä ja synkkiä tulevaisuuskuvia. Ne tekevät näkyviksi riskejä, riippuvuuksia ja kehityssuuntia, joihin voidaan vaikuttaa ajoissa. Yksittäinen skenaario ei ole ennuste, kannanotto tai toimijoiden yhteinen tavoite.

Visioissa kiteytyy kolme toisiaan täydentävää mahdollisuusaluetta, jotka tunnistettiin ennakointityössä laajasti tavoiteltaviksi ja kestäväen kasvun kannalta merkitykselliseksi. Ne kutsuvat eri toimijoita kehittämään ratkaisuja omista lähtökohdistaan:

- **Korkean arvon materiaalikierto** suuntaa huomion puun eri jakeiden arvon kasvattamiseen ja pidempisiin materiaalikiertoihin.
- **Älykäs ja autonominen arvoverkko** yhdistää metsäosaamisen, datan, automaation ja ennakoivan ohjauksen.
- **Resilientti luontopääoma** rakentaa yhteyttä metsien elinvoiman, todennettavien luontovaikutusten ja uuden taloudellisen arvon välille.

Miksi tätä tarvitaan nyt?

Ilmastokriisi, luontokato, geopolittiset jännitteet, kiristynyt sääntely ja teknologinen murros haastavat metsäelinkeinon nykyisiä liiketoimintalogiikoita. Samalla metsäelinkeino voi olla keskeinen osa fossiilisista raaka-aineista ja toimintamalleista irtautumista. Murros avaa mahdollisuuden hyödyntää vuosikymmenten aikana kertynyttä metsäosaamista, teollista jalostuskäytä, tutkimusta ja luonnonvaroja uudella tavalla sekä luoda niiden pohjalta täysin uutta. Miten taloudellinen arvontuotto ja metsäluonnon vahvistaminen voidaan yhdistää?

Tulevaisuuskompassi tarjoaa välineitä keskusteluun, päätöksentekoon ja uudistumiseen tilanteessa, jossa tulevaisuutta ei voi rakentaa yksin eikä yhdestä näkökulmasta käsin. Se on relevantti metsäalan ja liitännäistoimialojen yritysten johdolle ja innovaattoreille, politiikkatoimijoille, metsänomistajille, etujärjestöille sekä tutkimus- ja koulutusorganisaatioille.

Haluamme auttaa eri toimijoita hyödyntämään aineistoa ja löytämään suuntia kestäväen kasvuun.

26.8.2026 Espoo

Tiina Apilo ja Anu Nousiainen



“Jokainen toimija rakentaa omat johtopäätöksensä aineistosta, mutta toimijat yhdessä varmistavat menestystekijöiden pohjalta kestäväen kasvun tulevaisuuden.”

Sisällysluettelo

Lukijalle	2
Sisällysluettelo	3
Kompassi ja navigointiopas	4
Pohjoinen: Löydä Pohjantähtesi	5
Koillinen: Toimintaympäristön tunnistetut muutosvoimat	8
Itä: Tulevaisuussignaalit	11
Tulevaisuustutka	13
Ympäristöllinen	14
Teknologinen	16
Taloudellinen	18
Poliittinen	20
Sosiaalinen	21
Kaakko: Epävarmuustekijät ja mahdolliset tulevaisuustilat	22
Etelä: Oppimisskenaariot	34
Oppimisskenaariovalikko	36
Lounas: Strategiset toimenpiteet	57
Länsi: Visiot	61
Visiovalikko	63
Luode: Ennakointiprosessi, metodit ja sisältölogiikka	76
Loppuviitteet	80



Valitse oma reittisi

Raportti on rakennettu interaktiiviseksi työkaluksi. Voit valita, mistä aloitat, ja edetä sisältöjen välillä linkkien ja navigointikompassin avulla. Kokonaisuuden hahmottamisessa auttavat viereinen sisällysluettelo ja seuraava kompassisivu. Voit silmäillä kokonaiskuvaa, syventyä kiinnostaviin skenaarioihin, visioihin ja strategisiin toimenpiteisiin tai pysähtyä yksittäisiin signaaleihin. Seuraavat reitit auttavat löytämään nopeasti sopivan aloituskohdan:



Hahmota muutoksen suunta tulevaisuussignaaleista

Yhdellä silmäyksellä näet kaikki signaalit Tulevaisuustutkalla. Jokaisella viidellä signaalikategorialla on oma valikkonsa, jossa signaalit kuvataan lyhyesti ja jossa näkyy, mitkä niistä avataan tarkemmin oppimisskenaarioiden ja visioiden yhteydessä.



Tutki vaihtoehtoisia tulevaisuuksia oppimisskenaarioiden avulla

Skenaariot avaavat mahdollisia kehityskulkuja sekä niihin liittyviä mahdollisuuksia, riskejä ja kysymyksiä. Ne auttavat haastamaan nykyisiä oletuksia ja varautumaan myös epätodennäköisiltä tuntuviin muutoksiin.



Rakenna tavoiteltavia tulevaisuuskuvia visioiden avulla

Visiot kuvaavat, millaisia tavoiteltavia tulevaisuuksia metsäelinkeinolle voidaan rakentaa. Ne auttavat tunnistamaan ratkaisuja, kyvykkyyksiä, kumppanuuksia ja uudistumisen mahdollisuuksia.

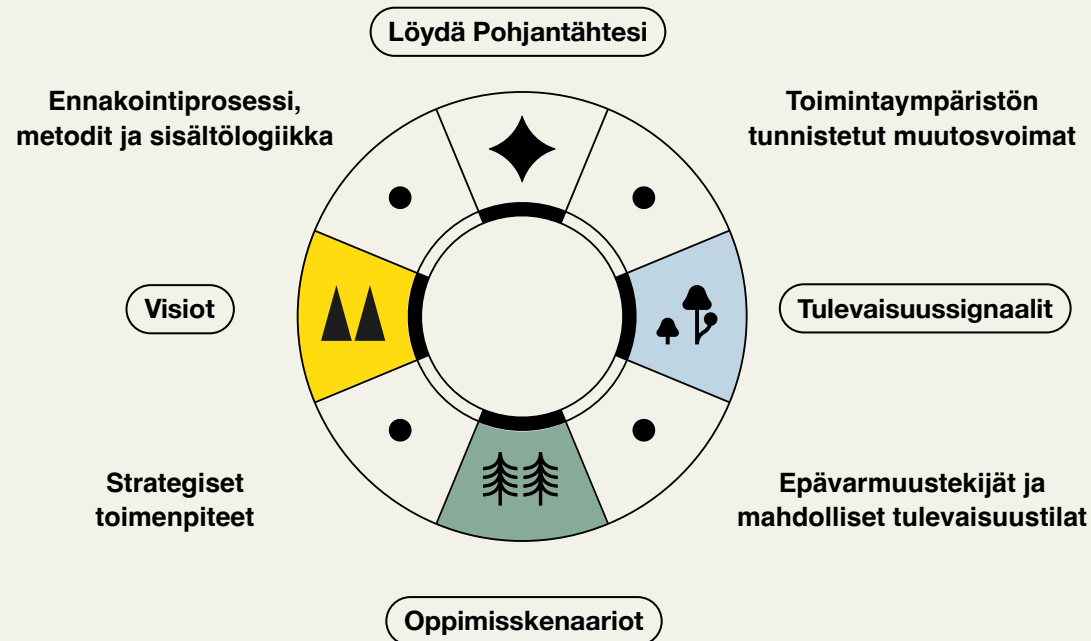


Vie havainnot teoiksi Pohjantähden avulla

Pohjantähti-osio kokoaa kysymyksiä ja näkökulmia, joiden avulla voit suunnata keskustelua, kirkastaa valintoja ja tunnistaa seuraavia askeleita omassa organisaatiossasi tai verkostossasi.

Raportin muista osioista löydät taustaa toimintaympäristön muutoksista, merkittävimmistä epävarmuustekijöistä, useissa tulevaisuuksissa toimivista strategisista toimenpiteistä sekä osallistavan ennakointiprosessin etenemisestä.

Kompassi ja navigointiopas



Tämä on interaktiivinen raportti, jossa kompassin ilmansuuntia painamalla pääset liikkumaan eri osioihin.

Raportin sivuilla näet myös erilaisia ikoneita, jotka nekin vievät raportin eri osioihin seuraavasti:



Osiot: Pääset kyseiseen osioon



Kompassi: Pääset tälle sivulle



Nuoli: Linkki raportin sisällä



Viite: Linkki vie loppuviiteosioon. Painamalla samaa loppuviitettä pääset takaisin sivulle, jossa viite on.

Pohjoinen

Löydä Pohjantähtesi





Tämä raportti on kompassi, jolla navigoit tulevaisuuteen: Löydä Pohjantähtesi, tunnista mahdollisuudet ja haasta oletukset

Pohjantähti, Polaris, on vuosisatojen ajan auttanut löytämään suunnan. Se näyttää pysyvän taivaalla lähes paikallaan ja toimii siksi luotettavana suunnistamisen apuna. Pohjantähti onkin vahva vertauskuva myös strategialle: tarvitaan yhteinen suunta, joka auttaa tekemään valintoja epävarmassa maailmassa.

Täysin pysyviä kiintopisteitä ei kuitenkaan ole. Maan akselin hitaasta prekessioliikkeestä johtuen myös napatahti vaihtuu erittäin pitkien aikajaksojen kuluessa. Jokainen Pohjantähti palvelee omaa aikaansa, kunnes uusi ottaa sen paikan. Samalla tavalla myös strategiset tavoitteet, toimintaympäristöt ja kilpailuedut muuttuvat ajan myötä.

Pohjantähti ei myöskään ole yksittäinen tähti, vaan useasta tähdestä muodostuva tähtijärjestelmä. Tämä muistuttaa siitä, että kestävä suunta rakentuu harvoin yhden ratkaisun tai yhden toimijan varaan. Menestys syntyy yhteistyöstä, erilaisia näkökulmia yhdistämällä ja vaihtoehtoja tarkastelemalla.

Strategiassa ♦ **Pohjantähti** (North Star) tarkoittaa organisaation tai toimialan pitkän aikavälin tarkoitusta, yhteistä suuntaa ja tavoitetta, jonka avulla päivittäiset päätökset voidaan sovittaa osaksi suurempaa kokonaisuutta. Se auttaa tunnistamaan, mitä kohti kannattaa kulkea myös silloin, kun ympärillä tapahtuu nopeita ja odottamattomia muutoksia.

Pelkkä suunnan löytäminen ei kuitenkaan riitä. Tarvi-
taan myös kykyä kuvitella jotain nykyistä suurempaa.

♦ **Moonshot-ajattelulla** [1] tarkoitetaan kunnianhimoisten tavoitteiden asettamista tavalla, joka haastaa nykyiset toimintamallit ja teknologiset rajat. Käsitteen taustalla on Yhdysvaltojen 1960-luvun tavoite lähettää ihminen Kuuhun – päämäärä, joka vauhditti ennennäkemätöntä teknologista, taloudellista ja yhteiskunnallista kehitystä.

Tulevaisuuteen suuntautuva strategia tarvitsee sekä Pohjantähden että Moonshotin: yhteisen suunnan, joka auttaa navigoimaan epävarmuudessa, sekä rohkean tavoitteen, joka kannustaa uudistumaan ja luomaan uutta. Ennakointi tarjoaa tähän välineet. Se ei pyri ennustamaan yhtä oikeaa tulevaisuutta, vaan tunnistamaan muutoksia, haastamaan oletuksia, tutkimaan vaihtoehtoisia kehityspolkuja ja laajentamaan päätöksenteon näkökulmaa kohti valintoja.

Kompassin rakenne ja käyttö

Menestyvät strategiat rakentuvat harvoin pelkästään nykyhetken optimoinnin varaan. Ne syntyvät kyvystä tunnistaa muutoksia ajoissa, nähdä mahdollisuuksia ennen muita ja valmistautua useisiin mahdollisiin tulevaisuuksiin.

Tämä raportti kokoaa ennakointimenetelmillä tuotettua tutkimustietoa Suomen metsäelinkeinon mahdollisista tulevaisuuksista. Se ei tarjoa yhtä valmista vastausta, vaan rakennuspalikoita yhteiseen ajatteluun, päätöksentekoon ja toimintaan. Raportti auttaa siirtymään

tulevaisuustietoisuudesta kohti toimijuutta ja suuntaa kompassin tavoin: ymmärtämään muutosta, tarttumaan mahdollisuuksiin ja vaikuttamaan siihen, millaiseksi tulevaisuus muodostuu.

Jokaisessa raportin osiossa on tietoa, näkökulmia ja kysymyksiä ajattelun tueksi. Kun tarkastelet sisältöjä, tärkeimmät kysymykset keskittyvät kuitenkin kahteen olennaiseen: Mihin suuntaan meidän kannattaa kulkea ja mitä rohkeaa meidän tulee tavoitella?

Seuraavalla sivulla pääset konkreettiselle tasolle pääkysymysten, niiden vastausten ja toimien tunnistamisessa.
➔

Kun tarkastelet raportin sisältöjä, palaa tälle sivulle ja arvioi alla olevien kysymysten avulla, mitä ne merkitsevät omalle suunnalle, rohkealle tavoitteelle ja seuraaville askeleille.

1. ♦ Pohjantähti: mihin suuntaan meidän kannattaa kulkea?

Nämä kysymykset auttavat tunnistamaan yhteistä suuntaa, pitkän aikavälin arvoa ja omaa roolia muutoksessa.

- Mitä mahdollisuuksia eri tulevaisuuksissa toistuu?
- Mitä riskejä eri tulevaisuuksissa näyttäytyy ja mitkä oletukset toimintamme taustalla voivat puolestaan osoittautua vääriksi?
- Missä olemme liian riippuvaisia nykyisestä liiketoimintalogiikasta, raaka-aineajattelusta tai arvoketjun rakenteesta?
- Mistä tulevaisuuden arvo syntyy?
- Mikä on oma roolimme tulevaisuuden arvoverkostossa?
- Mitä meidän kannattaa vahvistaa jo nyt? Millaista kyvykkyyttä ja osaamista tarvitsemme tulevaisuudessa?
- Miten toimintamme tukee sekä ekologista, taloudellista että yhteiskunnallista kestävyyttä?

2. ♦ Moonshot: mitä rohkeaa meidän tulee tavoitella?

Nämä kysymykset auttavat haastamaan nykyisiä oletuksia, näkemään uudistumisen mahdollisuuksia ja tunnistamaan asioita, joita ei voi ratkaista vain nykyistä toimintaa tehostamalla.

- Mitä mahdollisuutta emme saa jättää käyttämättä, vaikka sen toteutumisen vaatisi merkittävää loikkaa?
- Mikä on niin kunnianhimoinen tavoite, että se pakottaa meidät uudistamaan tapamme ajatella yhteistyöhön ja investointeihin asti?
- Mitä uutta voimme luoda, kun emme ole sidottuja nykyisiin toimintamalleihin?
- Mitä tulee lopettaa, vähentää tai välttää, jotta uusi arvo voi syntyä?
- Millaisia uusia ratkaisuja, kumppanuuksia, toimijarooleja ja toimialoja eri tulevaisuudet kutsuvat esiin?
- Mikä tai kuka voi muuttaa kaikki pelisäännöt ja markkinan?
- Miten toimintamme vauhdittaa sekä ekologista, taloudellista että yhteiskunnallista kestävyyttä?

Muuta vastaukset toiminnaksi

Kysymysten tarkoitus ei ole jäädä pohdinnaksi. Käytä vastauksia oman organisaation, verkoston tai toimialan seuraavien askelten määrittelyyn.

Vastausten pohjalta voit rakentaa esimerkiksi:

► Strategiset valinnat

Määritä, mitä vahvistetaan, mistä luovutaan ja missä halutaan olla edelläkävijä.

► Uusi rooli arvoverkostossa

Tunnista, muuttuuko oma tehtäväsi esimerkiksi raaka-aineen tuottajasta ratkaisujen kehittäjäksi, datan hyödyn-täjäksi, palveluntarjoajaksi, luonnon tilan vahvistajaksi, teknologiakumppaniksi tai uuden ekosysteemin rakentajaksi.

► Innovaatio- ja TKI-agenda

Valitse tutkimus-, kehitys- ja innovaatio-teemat, jotka vastaavat sekä toistuviin mahdollisuuksiin että kriittisiin epävarmuuksiin.

► Tiekartat ja siirtymäpolut

Kuvaa, mitä pitää tapahtua lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä eri puolilla organisaatiota ja arvoverkostoja, jotta visioista tulee toteuttamiskelpoisia.

► Kumppanuudet ja ekosysteemit

Tunnista, keiden kanssa tulevaisuuden ratkaisut on rakennettava: yritysten, metsänomistajien, julkisen sektorin, kansalaistoimijoiden, asiakkaiden, tutkimuksen tai kokonaan uusien toimijoiden kanssa.

► Kyvykkyyksien uudistaminen

Määritä, mitä uusia kyvykkyyksiä tarvitaan esimerkiksi datan, ekologian, materiaalien, liiketoiminnan, sääntelyn, asiakasymmärryksen ja systeemisen muutoksen alueilla.

► Seuranta ja jatkuva ennakointi

Päätä, mitä signaaleja, epävarmuuksia ja muutostekijöitä seurataan jatkossa, jotta strategiaa voidaan päivittää ajoissa.



Koillinen

Toimintaympäristön tunnistettut muutosvoimat



Toimintaympäristön tunnistetut muutosvoimat



Suomen metsäelinkeinoon vaikuttaa samanaikaisesti joukko laajoja poliittisia, taloudellisia, sosiaalisia, teknologisia ja ympäristöön liittyviä muutosvoimia. Ne eivät ole vaihtoehtoisia tulevaisuuksia, vaan jo käynnissä olevia kehityssuuntia, joiden vaikutukset näkyvät päätöksenteossa, investoinneissa, markkinoilla ja metsien käytössä.

Tässä luvussa kuvataan toimintaympäristön muutoksia, jotka muodostavat yhteisen lähtökohdan raportin myöhemmille osioille. Epävarmuustekijät, oppimisskenaariot ja visiot rakentuvat osin näiden tunnistettujen muutosvoimien varaan, mutta tarkastelevat pidemmälle sitä, mihin suuntiin muutokset voivat edetä.

Julkisessa keskustelussa korostuvat erityisesti metsien rooli ilmasto- ja luontotavoitteiden saavuttamisessa, hiilinielujen kehitys, ennallistamiskysymykset sekä Euroopan unionin sääntelyn vaikutukset metsien käyttöön. Samalla turvallisuusympäristön muutokset, huoltovarmuus ja toimitusketjujen toimintakyky ovat vahvistaneet keskustelua kotimaisen puuraaka-aineen merkityksestä ja sen strategisesta omavaraisuudesta.

Metsäteollisuus on jatkanut investointeja digitalisointiin, datan hyödyntämiseen, vähähiilisiin tuotantoratkaisuihin sekä korkeamman jalostusasteen tuotteisiin, samalla kun markkinoiden epävarmuus, rakentamisen heikko suhdanne ja kansainvälinen kilpailu ovat haastaneet perinteisiä liiketoimintamalleja.

Myös metsänomistuksen, luonnon monimuotoisuuden, virkistyskäytön ja metsien yhteiskunnallisen hyväksytävyyden ympärillä käytävä keskustelu on voimistunut.

Nämä kehityskulut osoittavat, että metsäelinkeinoon toimintaympäristö on jo muutoksessa. Näitä muutoksia kuvataan seuraavaksi PESTE-mallin mukaisesti. Ennakointiin perustuvan tutkimuksen tehtävänä onkin tarkastella, mihin suuntiin nämä jo näkyvät muutokset voivat tulevina vuosikymmeninä johtaa.

Poliittiset muutokset

Geopoliittinen epävarmuus ja strateginen autonomia

Metsäelinkeinoon toimintaympäristöä muokkaavat geopoliittinen epävarmuus ja strategisen autonomian tavoittelu. Huoltovarmuuden merkitys nostaa esiin kotimaisen puuraaka-aineen saatavuuden, strategisten materiaalien ja toimitusketjujen turvaamisen sekä metsä- ja paikkatiedon suojaamisen. Kansainvälisen kaupan ja turvallisuuspolitiikan muutokset voivat ohjata puuvirtoja uusille reiteille ja muuttaa kilpailuasetelmia.

Sääntelyn, raportoinnin ja jäljitettävyyden kasvu

Metsäsektorilta odotetaan entistä tarkempaa alkuperän, sijainnin ja tuotantoketjujen jäljitettävyyttä sekä kattavaa hiili-, luonto- ja kestävyysraportointia. Kansallinen, EU-tason ja kansainvälinen sääntely kytkevät suomalaisen metsäelinkeinoon yhä tiiviimmin globaaleihin markkinoihin. EU-sääntelyn vahvistuminen

lisää tarvetta sovittaa yhteen kansallisia tavoitteita ja kansainvälisiä velvoitteita.

Luonnonvarojen käytön politisoituminen

Metsien käyttöön kohdistuu kasvavia ja osin ristiriitaisia odotuksia. Puuntuotanto, ilmastotavoitteet, monimuotoisuus, virkistyskäyttö ja aluekehitys synnyttävät poliittisia jännitteitä, jotka näkyvät ennallistamisen, suojelun ja metsien käytön ohjauksessa. Luonnonvarojen käyttö on yhä selvemmin poliittinen valinta siitä, miten hyötyjä, haittoja ja vastuita jaetaan.

Taloudelliset muutokset

Globaali resurssikilpailu

Metsäelinkeino toimii kiihtyvän globaalin resurssikilpailun keskellä. Puuraaka-aineesta kilpailevat yhä useammat käyttökohteet, mikä lisää painetta puun käytön priorisointiin ja resurssien tehokkaaseen hyödyntämiseen. Sivuvirtojen ja uusien materiaalivirtojen hyödyntäminen nousee tärkeäksi kilpailukyvyn lähteeksi.

Markkina- ja kysyntärakenteiden murros

Painopaperin kysynnän pitkään jatkunut lasku on muuttanut toimialan rakennetta, kun taas pakkausmateriaalien ja kartongin kysyntä kasvaa verkkokaupan, kiertotalouden ja fossiilisten materiaalien korvaamisen myötä. Puurakentamisella nähdään merkittäviä mahdollisuuksia, mutta ala on edelleen altis suhdannevaihteluille, sääntelylle ja rakentamisen investointisykliin muutoksille.

Uudet arvonluontimallit

Taloudellinen arvo syntyy yhä enemmän uusista arvonluontimalleista. Korkean jalostusasteen tuotteet, biopohjaiset materiaalit ja kemikaalit sekä luonto- ja ekosysteemipalveluihin perustuvat markkinat laajentavat metsäelinkeinon ansaintalogiikkaa perinteisen puukaupan rinnalla. Tulevaisuuden kilpailukyky rakentuu kyvystä tuottaa enemmän arvoa samasta biomassasta ja yhdistää materiaalit, palvelut sekä aineeton arvo osaksi uusia liiketoimintamalleja.

Sosiaaliset muutokset

Demografinen muutos ja omistajuuden murros

Metsänomistusrakenne muuttuu demografisten muutosten myötä. Metsänomistajien keski-ikä nousee ja metsien etä- sekä yhteisomistajuus lisääntyvät. Omistajien tavoitteet monipuolistuvat, mikä heijastuu metsien käyttöön, hoitoon ja investointipäätöksiin.

Arvojen, luontosuhteen ja hyväksyttävyyden murros

Ihmisten arvot ja luontosuhde ovat muutoksessa. Metsiin kohdistuu yhä enemmän odotuksia, jotka liittyvät virkistykseen, hyvinvointiin, luonnon monimuotoisuuden ja ilmastomuutoksen hillintään. Monitavoitteinen metsätalous vahvistuu, ja toiminnan sosiaalinen hyväksyttävyys muodostuu yhä tärkeämmäksi menestystekijäksi niin yrityksille kuin koko toimialalle.

Työn ja osaamisen murros

Työ ja osaaminen uudistuvat nopeasti. Metsänhoidossa ja korjuussa kohdataan työvoiman saatavuushaasteita samaan aikaan, kun dataan, automaatioon ja vastuullisuuteen liittyvän osaamisen tarve kasvaa. Toimialan on kyettävä houkuttelemaan uudenlaisia osaajia sekä

yhdistämään biologinen, teknologinen ja liiketoiminnallinen osaaminen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi.

Teknologiset muutokset

Tekoäly, data ja digitaalinen läpinäkyvyys

Digitalisaatio, tekoäly ja data muuttavat metsäelinkeinon toimintaa koko arvoketjussa. Täsmämetsätalous, kaukokartoitus ja jatkuvasti päivittyvä metsätieto mahdollistavat tarkemman päätöksenteon metsänhoidosta jalostukseen. Digitaalinen alkuperän todentaminen ja arvoketjujen datavirrat lisäävät läpinäkyvyyttä sekä tukevat vastuullisuuden osoittamista.

Automaatio ja autonomiset järjestelmät

Automaatio etenee metsissä, tehtailla ja logistisissa ketjuissa. Korjuuautomaatio, päätöksenteon tukijärjestelmät, ennakoiva kunnossapito sekä autonominen mittaaminen ja valvonta parantavat tuottavuutta, turvallisuutta ja resurssitehokkuutta. Yhä suurempi osa operatiivisesta toiminnasta perustuu reaaliaikaiseen dataan ja koneiden väliseen tiedonvaihtoon.

Energia- ja tuotantojärjestelmien murros

Energia- ja tuotantojärjestelmät uudistuvat. Teollisuusprosessien sähköistyminen, energiatehokkuuden parantaminen ja hukkalämmön hyödyntäminen vähentävät päästöjä ja riippuvuutta fossiilisista energialähteistä. Energiaomavaraisuus ja järjestelmien joustavuus nousevat tärkeiksi kilpailukyvyyn ja toimintavarmuuden tekijöiksi muuttuvassa monilähteisessä energiaympäristössä.

Ympäristömuutokset

Ilmastomuutos ja resilienssin tarve

Ilmastomuutos lisää metsäelinkeinon toimintaympäristön epävarmuutta ja korostaa resilienssin merkitystä. Sään ääri-ilmiöt, metsätuhot ja muuttuvat kasvuolosuhteet lisäävät tarvetta hallita riskejä ennaktoivasti. Ilmastokestävät metsänhoitomallit sekä puulajisuhteiden ja kasvun muutoksiin sopeutuminen nousevat keskeisiksi kysymyksiksi.

Luontokato ja ekosysteemien heikkeneminen

Luontokato ja ekosysteemien heikkeneminen vahvistavat vaatimuksia luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi. Monimuotoisuutta vahvistava luonnonhoito, elinympäristöjen rakenteellisten piirteiden huomioiminen sekä ennallistaminen muuttuvat yhä tärkeämmäksi osaksi metsien käyttöä ja hoitoa. Metsien ekologinen tila nähdään yhä useammin kilpailukyvyyn ja yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden perustana.

Maaperän, veden ja hiilen niukkuuspaineet

Huomiota kiinnitetään yhä enemmän maaperän, veden ja hiilen kestävään hallintaan. Turvemaiden vesienhallinta, maaperän suojelu, ravinnekiertojen kehittäminen sekä hiilinielujen turvaaminen ovat nousseet keskeisiksi tavoitteiksi. Epävarmuus hiilinielujen kehityksestä lisää tarvetta kehittää ratkaisuja, jotka vahvistavat metsien ilmasto- ja luontohyötyjä samanaikaisesti.



Itä

Tulevaisuussignaalit



Signaalit



Mitä tulevaisuussignaalit ovat – ja mitä ne eivät ole?

Tulevaisuussignaalit ovat havaintoja nousevista ilmiöistä, kokeiluista, teknologioista, käyttäytymisen muutoksista ja uusista toimintamalleista, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi tulevaisuuden kehitykseen. Ne eivät vielä muuta maailmaa laajasti, mutta voivat olla varhaisia merkkejä muutoksista, jotka haastavat nykyisiä oletuksia ja avaavat uusia mahdollisuuksia. Signaalit auttavat tunnistamaan vaihtoehtoisia tulevaisuuksia, rikastamaan strategista ajattelua ja suuntaamaan huomiota siihen, mikä saattaa olla vasta muodostumassa.

Tässä raportissa signaalit on koottu VTT:n Tulevaisuustutkaan [2], joka hyödyntää monipuolisia tutkimus-, teknologia-, uutisdata- ja asiantuntijalähteitä nousevien mahdollisuuksien tunnistamiseen. Tulevaisuustutka (ks. seuraava sivu) kokoaa metsäelinkeinoon vaikuttavia tulevaisuussignaaleja kahden ulottuvuuden avulla. Monet signaalit liittyvät useaan PESTE-luokkaan samanaikaisesti, mutta tutkaan ne on sijoitettu niiden keskeisimmän vaikutusalueen mukaan. Tutkan kehät puolestaan kuvaavat signaalin levinneisyyttä ja kypsyysastetta. Tulevaisuussignaaleista saadaan eniten hyötyä, kun niitä seurataan jatkuvasti ja tutkaa päivitetään säännöllisesti.

Signaalit ovat:

- tutkimukseen perustuvia varhaisia merkkejä mahdollisista muutoksista
- nykyhetkessä havaittavia esimerkkejä tulevaisuudesta
- välineitä uusien mahdollisuuksien ja riskien tunnistamiseen

Signaalit eivät ole:

- ennusteita tai varmoja tulevaisuuksia
- laajalle levinneitä trendejä tai megatrendejä
- todennäköisyysjärjestykseen asetettuja kehityskulkuja



“Mistä syntyy uusi normaali?”

Miten hyödynnät signaaleja ja tämän osion sisältöjä?

Yhdistele signaaleja ja luo uusia näkökulmia

Valitse kaksi tai useampia signaaleja ja tarkastele niitä yhdessä. Mitä ne voisivat tarkoittaa, jos ne toteutuisivat samanaikaisesti? Voisiko niiden yhdistelmä synnyttää uuden liiketoimintamahdollisuuden, teknologian, toimintamallin tai kokonaan uuden kehityskulun, jota et ole aiemmin tunnistanut?

Tunnista kehityspolkuja ja kehitä nykyisiä suunnitelmia

Tarkastele, miten signaalit etenevät hahmottuvista ilmiöistä kohti kehittyviä ja edelleen vakiintuvia käytäntöjä. Vahvistavatko kehityspolut omaa nykyistä suuntaanne ja organisaatiosi tiekartoja? Missä haluatte olla edelläkävijänä ja missä puolestaan seuraajan roolissa. Mitä suuntaa pitäisi muuttaa jo nyt?

Tunnista murrokset ja hyödynnä synergiat ajoissa

Kiinnitä erityistä huomiota signaaleihin, jotka haastavat nykyisiä toimintalogiikoita, arvoketjuja tai kilpailuetuja. Mikä yksittäinen signaali voisi murtaa ja muuttaa markkinoiden pelisääntöjä? Etsi myös tutkalta signaaleja, jotka vahvistavat toisiaan eri PESTE-sektoreilla. Usein merkittävimmät mahdollisuudet syntyvät siellä, missä eri sektoreiden muutokset alkavat tukea toisiaan. Pohdi, millaista uutta arvoa tai kilpailuetua tällaisista yhdistelmistä voisi syntyä?

Signaalit

Metsäelinkeinon tulevaisuustutka 2050

Signaalin sijainti tutkan kehillä kuvaa arvioita sen kypsyyssasteesta ja valtavirtaistumisesta **tulevaisuudessa**.

● **Vakiintuva:** Signaalit, joista on havaittavissa toistuvia esimerkkejä, konkreettisia sovelluksia ja päätöksiä.

◎ **Kehittyvä:** Signaalit, joista nähtävillä selkeitä merkkejä, ja joiden vaikutus voi olla myöhemmin merkittävä.

○ **Hahmottuva:** Signaalit orastavista ilmiöistä, nousevista mahdollisuuksista ja varhaisen vaiheen teknologioista, joiden kehityssuunta ja todennäköisyys ovat vielä avoimia.

i Kun löydät kiinnostavan signaalin, etsi missä skenaariossa tai visiossa se on mukana. Niissä yksittäiset havainnot yhdistyvät laajemmiksi kehityskuluiksi ja ratkaisualueiksi.



Ympäristöllinen

● Vakiintuva ● Kehittyvä ○ Hahmottuva

Ligniini-asfaltti



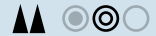
Ligniiniä käytetään biopohjaisena sideaineena asfaltissa fossiilisen bitumin korvaajana. Ratkaisu pienentää tienrakennuksen hiilijalanjälkeä ja varastoi biogeenistä hiiltä infrastruktuuriin.

Tekoälyoptimoitu ilmastokestävyys



Tekoälymallit yhdistävät kaukokartoitusta, säädataa ja maastohavaintoja metsien terveyden ja ilmatoriskien seurantaan. Tavoitteena on ennakoida tuhot ja kohdentaa metsänhoito paikallisiin oloihin.

Kuorijalostamo



Puunkuoresta erotetaan korkean arvon kemikaaleja, materiaaleja ja hyvinvointituotteiden raaka-aineita sen sijaan, että kuori käytettäisiin pääasiassa energiaksi.

Ekosysteemien reaaliaikaseuranta



Metsien seuranta siirtyy kohti jatkuvaa ja ennakoivaa tilannekuvaa, jossa ympäristöriskejä ja ekosysteemin muutoksia voidaan havaita varhaisessa vaiheessa.

Dataohjattu maaperänhallinta



Maaperän ominaisuuksia, kosteutta ja ravinnekiertoa seurataan jatkuvasti, ja tietoa käytetään metsänhoidon sekä korjuun suunnitteluun. Maaperästä muodostuu aktiivisesti johdettava ekologinen ja tuotannollinen resurssi.

Molekyylitason kierrätys



Puupohjaiset kuidut, tekstiilit ja monimateriaalit hajotetaan kemiallisesti takaisin selluloosaksi, monomeereiksi tai muiksi käyttökelpoisiksi raaka-aineiksi.

Paperipullot



Paperikuitupohjaisissa pulloissa muovia korvataan muotoon puristetuilla kuiturakenteilla, joita voidaan valmistaa puukuidusta ja kierrätyskuidusta.

Digitaalinen luontotase



Tekoäly, bioakustiikka, satelliittidata ja digitaaliset kaksoiset mahdollistavat luontoarvojen, kuten biodiversiteetin, hiilensidonnän ja ekosysteemien tilan, jatkuvan mittaamisen ja mallintamisen.

Puiden avustettu levittäytyminen



Muuttuvan ilmaston takia siementen, alkuperien tai puulajien siirtäminen uusille kasvupaikoille. Avustettu levittäytyminen pyrkii vahvistamaan metsien kasvua ja häiriönsietoa.

Suljettu vesikierto



Sellu- ja biotuotetehtaiden prosessivesi puhdistetaan ja palautetaan tuotantoon yhä useampia kertoja, jolloin makean veden otto ja jätevesipäästöt vähenevät.

Häiriöohjautuva puuvirta



Luonnonhäiriöt, kuten myrskyt, kuivuus, palot ja hyönteistuhot, tekevät puuvirroista aiempaa vaikeammin ennakoitavia. Teollisuuden hankinta ja tuotanto mukautuvat yhä enemmän tuhopuun saatavuuteen.

Avaruusajan puu



Puun solurakennetta ja nanoselluloosaa muokkaamalla kehitetään kevyitä, lujia ja vaativia olosuhteita kestäviä materiaaleja avaruus-, ilmailu-, liikenne- ja puolustus-teknologioihin.

Ympäristöllinen

☒ Vakiintuva

☒ Kehittyvä

☐ Hahmottuva

Metsän mikrobiomin ohjaus



Maaperän sieni- ja bakteerikantoja ryhdytään mittaamaan ja muokkaamaan metsän kasvun, ravinteiden käytön ja ilmastokestävyyden vahvistamiseksi.

Puun geenimuuntelu ja jalostus



Puiden jalostuksessa yhdistetään perinteinen risteytys, DNA-markkereihin perustuva valinta, genominen ennustaminen ja täsmällinen genomieditointi.

Tekstiili-integraatti



Sellutehtaat yhdistävät puuraaka-aineen ja poistotekstiilien kemiallisen kierrätyksen. Näin ne kytkeytyvät muotiteollisuuden kuitukiertoon ja vähentävät neitseellisen biomassan tarvetta.

Teknologinen

● Vakiintuva ● Kehittyvä ○ Hahmottuva

Autonominen tehdasoptimointi



Tehtaat siirtyvät reaaliaikaiseen ja ennakoivaan prosessinohjaukseen, jossa algoritmit optimoivat tuotantoa, energiaa, laatua ja kunnossapitoa ihmisen valvonnassa.

Biokomposiitit liikenteessä



Ajoneuvoteollisuudessa siirrytään kohti kevyempiä ja vähähiilisempiä rakenteita, joissa biokomposiitit ja puupohjaiset vaahdot korvaavat perinteisiä materiaaleja kuten lasikuitua, alumiinia ja terästä.

Tuholaisten täsmävalvonta



Metsätuholaisten torjunta perustuu jatkuvaan seurantaan, ennusteisiin ja paikallisesti kohdennettuihin toimiin. Tavoitteena on havaita tuhot ennen niiden laajenemista.

Digitaalinen kemia



Materiaalien ja kemikaalien kehitys siirtyy osittain laboratorioista laskennallisiin ympäristöihin, joissa tekoälymallit ja suurteholaskenta arvioivat valtavia määriä molekyyliä ja valmistusreittejä.

Kierrätettävät komposiitit



Komposiittimateriaalien kehityksessä painopiste siirtyy rakenteisiin, joissa puukuidut ja uusiutuvat sidosaineet muodostavat täysin kierrätettäviä kokonaisuuksia.

Tulostettavat puutuotteet



Sahanpurusta ja muista lignoselluloosapohjaisista sivuvirroista valmistetaan tulostettavia materiaaleja. Ne voivat mahdollistaa huonekalujen, rakennusosien ja erikoistuotteiden paikallisen 3D-tulostamisen.

Sähköinen lämpö



Metsäteollisuuden prosessilämpö tuotetaan yhä useammin sähkökattiloilla, teollisilla lämpöpumpuilla, sähkövastuksilla ja muilla polttoon perustumattomilla ratkaisuilla.

Kognitiivinen infra



Puurakenteisiin integroidaan sensoreita ja kuvantamista, jotka seuraavat rakenteiden kuntoa reaaliajassa. Data tukee ennakoivaa kunnossapitoa ja pidentää rakenteiden käyttöikää.

Biohajoava elektronikka



Myrkyllisiä ja vaikeasti kierrätettäviä piirilevyjä ja komponentteja valmistetaan yhä enemmän puupohjaisista ja luonnossa hajoavista materiaaleista, kuten nanosellulosesta ja ligniinistä.

Teollinen etäoperointi



Automaatio, kehittyneet prosessinohjausjärjestelmät ja nopeat tietoliikenneyhteydet siirtävät teollisten laitosten valvontaa ja ohjausta pois tuotantolaitoksilta kohti keskitettyjä etäoperaatiokeskuksia.

Puupohjaiset pakkausvaahdot



Puukuitupohjaiset vaahtomateriaalit kehittyvät kohti teollista kypsyyttä ja laajenevat nykyisistä erikoissovelluksista kohti vaativampia pakkaus- ja suojauskäyttöjä.

Fotoninen puu



Puun nanorakennetta muokkaamalla voidaan tuottaa materiaaleja, jotka läpäisevät, heijastavat tai sitovat valoa hallitusti. Ligniiniä poistamalla ja huokokset täyttämällä syntyy läpinäkyviä puukomposiitteja älyikkunoihin, valaisimiin ja optisiin rakenteisiin.

Teknologinen

 Vakiintuva

 Kehittyvä

 Hahmottuva

Itsekorjautuvat materiaalit



Puupinnoitteisiin ja biokomposiitteihin kehitetään rakenteita, jotka korjaavat pieniä naarmuja, halkeamia ja kosteuden aiheuttamia vaurioita itsenäisesti.

Labrakasvatettu puu



Kasvisoluja kasvatetaan bioreaktoreissa ja ohjataan muodostamaan lignoselluloosaa, ligniiniä ja puumaisia rakenteita ilman kokonaisen puun kasvattamista.

Ohjelmoitava puu



Puun nanorakenteita muokataan materiaaleiksi, jotka muuttavat muotoaan, jäykkyyttään tai muita ominaisuuksiaan ympäristön ärsykkeiden mukaan.

Orgaaniset akut



Ligniini, metsäteollisuuden yksi suurimmista sivuvirroista, nousee strategiseksi raaka-aineeksi energian varastoinnissa ja akkuteknologioissa.

Parvirobotiikka



Yhden raskaan monitoimikoneen tehtäviä jaetaan pienille autonomisille koneille ja drooneille, jotka suunnittelevat työn yhdessä ja vaihtavat tietoa keskenään.

Supereristeet



Puun kuiduista ja solurakenteesta kehitetään erittäin kevyitä ja tehokkaasti lämpöä eristäviä aerogeelejä. Ne voivat korvata fossiilipohjaisia eristeitä rakentamisessa ja muissa vaativissa käyttökohteissa.

Työkoneiden megawattilataus



Raskaiden ajoneuvojen ja liikkuvien työkoneiden latausteho nousee megawattiluokkaan, jolloin suuret akut voidaan ladata työvuorojen tauoilla tuntien sijasta kymmenissä minuuteissa.

Vedetön prosessi



Sellun, paperin ja kuitutuotteiden valmistuksessa vähennetään veden käyttöä korvaamalla märkiä työvaiheita kuivamuovauksella, vaahdotuksella, entsymaattisella esikäsittelyllä ja tehokkaammalla vedenpoistolla.

Taloudellinen

● Vakiintuva ● Kehittyvä ○ Hahmottuva

Metsä palveluna



Metsästä muodostuu palvelukokonaisuus, josta omistaja voi saada puukaupan rinnalla tuloa hiilen varastoinnista, luonnon monimuotoisuudesta, vesistöhyödyistä, virkistyksestä, maisemasta ja käyttöoikeuksista.

Milligrammatalous



Metsäteollisuuden arvo siirtyy osin suurista biomassavirroista korkean jalostusarvon molekyyleihin. Sivuvirroista erotetaan yhdisteitä kemian-, lääke- ja materiaaliteollisuuden tarpeisiin.

Rakenteet kiertävänä pääomana



Rakennusosat, erityisesti puuelementit, nähdään pitkällisenä pääomana, joka voidaan purkaa ja käyttää uudelleen. Vuokraus- ja palvelumalleissa komponentit säilyvät toimittajan omistuksessa.

Tehdas virtuaaliakkuna



Metsäteollisuuden tuotantolaitokset alkavat toimia taloudellisina joustoressursseina, joita voidaan käyttää sähkömarkkinoiden hintavaihtelujen hyödyntämiseen.

Biodiversiteettikrediitti



Biodiversiteettikrediitit tekevät luonnon monimuotoisuudesta kaupattavan ja todennettavan hyödyn. Metsänomistaja voi saada tuloa suojelusta, ennallistamisesta ja ekologisen tilan parantamisesta.

Brändien metsät



Globaalit brändit alkavat varmistaa puuraaka-aineen alkuperää, biodiversiteettiä ja toimitusvarmuutta omistamalla tai suojelemalla metsiä itse. Metsästä tulee osa brändin vastuullisuutta ja raaka-ainestrategiaa.

Kasvikuitujen kilpailu



Puukuitujen kanssa kilpailevat maatalouden sivuvirroista ja nopeasti kasvavista kasveista valmistettavat kuidut.

Luontotuloksen hinnoittelu



Luontotuloksen hinnoittelussa metsänhoidon ja maankäytön korvaukset perustuvat toteutuneisiin ekologisiin hyötyihin.

Negatiiviset päästöt palveluna



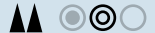
Metsäteollisuuslaitokset kehittyvät materiaalinvalmistuksen ohella energiantuotannon ja hiilensidonnan keskuksiksi.

Regeneratiivinen rahoitus



Rahoitusmarkkinoiden sääntely ja sijoittajien kriteeristöt painottuvat perinteisestä haittojen minimoinnista ja ennallistamisesta ekosysteemien tilan aktiiviseen parantamiseen.

Suoritepalvelu



Materiaalien ja kemikaalien myynti siirtyy suoriteperusteiseen palvelumalliin, jossa asiakas maksaa tuotteen tuottamasta hyödystä eikä käytetystä määrästä.

Puurakentaminen Kiinassa



Kiinan rakennussektorin vähähiilisyystavoitteet, teollinen puurakentaminen ja kasvava kiinnostus uusiutuviin materiaaleihin voivat avata markkinoita pohjoisille puutuotteille ja puurakentamisen osaamiselle.

Taloudellinen

☒ Vakiintuva
 ☒ Kehittyvä
 ☐ Hahmottuva

Algoritminen puukauppa



Puukaupan hinnat, ostotarpeet ja toimitukset alkavat määräytyä reaaliaikaisesti kaukokartoituksen, varastotietojen, sääennusteiden ja tuotannon kysyntädatan perusteella.

Euroopan kuituvarasto



Keski-Euroopan kuivuus, myrskyt ja hyönteistuhot heikentävät havupuun pitkän aikavälin saatavuutta ja muuttavat kuituvirtoja. Pohjoisen Euroopan metsien merkitys teollisuuden raaka-ainelähteenä voi kasvaa.

Itseohjautuva puuvirta



Puulogistiikka siirtyy tulevaisuudessa itseohjautuvaan toimintamalliin, jossa tekoälyagentit neuvottelevat ja ohjaavat puuvirtaa itsenäisesti kannolta tehtaalle.

Kiertävät pakkaukset



Kertakäyttöisten pahvilaatikoiden rinnalle kehittyä logistiikkaa, jossa tuotteet kulkevat kestävässä, palautettavissa ja digitaalisesti seurattavissa kuljetuslaatikoissa tai ilman erillistä kuluttajapakkausta.

Tehtaat vetyhubeina



Sellutehtaat integroituvat osaksi kansallista ja kansainvälistä vetytaloutta toimimalla alueellisina vedyn tuotanto- ja jakelukeskuksina.

Vakuutusohjattu metsänhoito



Metsävakuutukset muuttuvat vahinkojen korvaamisesta metsänhoitoa ohjaaviksi palveluiksi. Maksut ja ehdot kytkeytyvät mitattuun riskiin sekä ilmastokestävyyttä parantaviin toimiin.

Älykkäät sopimukset



Puukaupan sopimukset muuttuvat koneellisesti luettaviksi ehdoiksi, jotka käynnistävät maksuja, toimituksia ja tiedonsiirtoa automaattisesti, kun ennalta määritellyt ehdot täyttyvät.

Älykäs pakkaus data-alustana



Kuitupohjainen pakkaus toimii dynaamisena tiedonvälityskanavana, joka kerää ja välittää reaaliaikaista dataa tuotteen tilasta sekä sijainnista läpi arvoketjun.

Poliittinen

● Vakiintuva ● Kehittyvä ○ Hahmottuva

Geopoliittinen kotiuttaminen



Kansainvälisen politiikan jännitteet ja toimitusketjujen haavoittuvuus ohjaavat valtioita ja yrityksiä siirtämään kriittisten materiaalien hankintaa ja jalostusta pois geopolitiittisesti epävarmoista maista.

Kiinan metsäomaisuuden vapautus



Kiina toteuttaa massiivista kollektiivimetsien omistusoikeusreformia, joka selkeyttää hallintasuhdetta ja antaa viljelijöille sekä yrityksille vahvemmat oikeudet metsämaan hallintaan, käyttöön ja siirtoon.

Kemikaalihuoltovarmuus



Geopoliittiset jännitteet ja toimitusketjujen häiriöt lisäävät tarvetta tuottaa kriittisiä kemikaaleja ja muita huoltovarmuustuotteita kotimaisista biopohjaisista lähteistä.

Kaupan läpinäkyvyysvaatimus



Digitaalinen materiaalipassi kokoaa tuotteen tiedot alkuperästä, raaka-aineista ja kierrätettävyydestä sähköiseen muotoon. Tieto siirtyy arvoketjussa tuotteen mukana.

Monomateriaalivaatimus



Kiristynyt pakkaussääntely ja kiertotaloustavoitteet ohjaavat markkinoita kohti monomateriaaliratkaisuja, joissa pakkaukset kierrätetään yhtenä materiaalivirtana ilman monikerroslaminaatteja.

Luonto oikeushenkilönä



Luonto oikeushenkilönä -ajattelu pyrkii tunnustamaan luonnon kokonaisuuksille, kuten metsille, joille ja ekosysteemeille, itsenäisen oikeudellisen aseman riippumatta niiden taloudellisesta hyödyistä ihmisille.

Vihreä protektionismi



Kansainvälinen kauppapolitiikka siirtyy vapaakaupan painottamisesta arvopohjaiseen sääntelyyn, jossa ympäristö- ja ilmastostandardit toimivat ehtoina markkinoille pääsulle.

Rakennettu ympäristö hiilipankkina



Rakennukset ja infrastruktuuri tunnistetaan pitkäaikaisiksi hiilivarastoiksi, kun puutuotteisiin sitoutunut bio-geeninen hiili voidaan todentaa ja sisällyttää rakennusten elinkaari- ja ilmastolaskentaan.

Puunkäytön kaskadivaatimus



Biomassan käyttöä ohjataan sääntelyllä ja rahoituksella siten, että puu hyödynnetään ensisijaisesti pitkäikäisinä tuotteina, uudelleenkäytössä ja kierrätyksessä ennen energiakäyttöä.

CO2 talteenottohubit



Metsäteollisuuden tuotantolaitokset muuttuvat hiilidioksidin talteenoton ja hyödyntämisen solmukohtiksi, jotka integroituvat osaksi kansallista ja kansainvälistä hiilenhallintainfrastruktuuria.

Strateginen metsän omistus



Metsämaa alkaa näyttäytyä tuotannollisen omaisuuden lisäksi kansalliseen turvallisuuteen, huoltovarmuuteen, raja-alueisiin, kriittiseen infrastruktuuriin ja luonnonvaroihin liittyvänä strategisena varantona.

Sosiaalinen

● Vakiintuva ● Kehittyvä ○ Hahmottuva

Kemikaaliturvallinen sisäympäristö ●○○

Rakennusmateriaalien sisäilma- ja kemikaaliturvallisuus korostuvat erityisesti kodeissa, kouluissa ja päiväkodeissa. Kehitys lisää kysyntää vähäpäästöisille puupohjaisille ratkaisuille.

Kuluttamaton sukupolvi ●○○

Z- ja alfa-sukupolvien kulutus siirtyy kohti harkintaa, jakamista ja materiaalista irtaantumista. Muutos haastaa perinteisiä massamarkkinoita ja omistamiseen perustuvia liiketoimintamalleja.

Tiedon kriisi ●○○

Yhteisen tilannekuvan muodostaminen vaikeutuu disinformaation, tietokuplien ja heikentyvän tiedelukutaidon vuoksi. Metsiin liittyvä päätöksenteko altistuu vastakkainasettelulle ja epäluottamukselle.

Antimikrobiset puupinnat ●●○

Antimikrobiset puupinnat hyödyntävät puun luonnollisia ominaisuuksia ja funktionaalisia biopinnoitteita estämään mikrobien ja patogeenien kasvua ja leviämistä rakennettujen tilojen pinnoilla.

Biotalous hybridiosaaminen 𐄂 ●●○

Biotalous osaaminen rakentuu yhä useammin metsätieteen, ekologian, biokemian, materiaalitekniikan, datatieteen ja liiketoiminnan yhdistelmästä.

Kansalaispohjainen metsäseuranta ▲▲ ●●○

Metsien tilan seurantaan osallistuvat viranomaisten ja yritysten lisäksi kansalaiset ja paikallisyhteisöt. Havaintoja kootaan mobiilisovelluksilla, avoimilla tietopalustoilla ja paikkatiedolla.

Kaupunkiluonnon arvottaminen ▲▲ ●●○

Kaupunkien puusto ja viheralueet tunnistetaan taloudelliseksi, terveydelliseksi ja ekologiseksi pääomaksi. Niiden tuottamat hyödyt vaikuttavat suunnitteluun, investointeihin ja kunnossapitoon.

Metsätyön pelillistäminen ●●○

Simulaattorit, virtuaalitodellisuus ja etäohjaus muuttavat metsätyötä fyysisestä koneenkäytöstä digitaaliseksi taitolajiksi.

Metsän tokenisaatio ●○○

Lohkoketjupohjaiset mikrosijoitukset avaavat metsänomistuksen globaalille osallistumiselle, jossa yhteisöt vaikuttavat metsien käyttöön suuntaamalla rahoitusta omien arvojensa mukaisiin hankkeisiin.

Näkymätön tehdas 𐄂 ●●○

Sellu- ja biotuotetehtaiden ympäristökuormitus muuttuu yhä vaikeammin havaittavaksi, kun hajukaasut kerätään, melu vaimennetaan, vesikierron suljetaan ja päästöt sekä materiaalihäviöt pienenevät.

Parantava metsä ▲▲ ●●○

Metsien tutkitut terveys- ja hyvinvointivaikutukset muuttuvat tavoitteellisiksi palveluiksi, joita hyödynnetään esimerkiksi terveydenhuollossa, kuntoutuksessa ja työhyvinvoinnissa.

Puu ruokana 𐄂 ●●○

Sellutehtaasta kehittyä uudenlainen bioteollinen alusta, jossa puun hemiselluloosasta vapautetut sokerit muutetaan esimerkiksi proteiineiksi, prebiooteiksi ja muiksi ravintoaineiksi.



Kaakko

Epävarmuustekijät ja mahdolliset tulevaisuustilat



Epävarmuustekijät ja mahdolliset tulevaisuustilat

Kymmenen avointa kysymystä metsäelinkeinojen tulevaisuudesta



Tulevaisuus ei ole suora jatkumo nykyhetkestä, vaan sitä muovaavat monet yhtäaikaiset murrokset. Epävarmuustekijät kuvaavat teemoja, joiden suunta, voimakkuus ja seuraukset voivat muuttua merkittävästi vuoteen 2050 mennessä.

Tähän osioon on koottu kymmenen metsäelinkeinojen tulevaisuuden kannalta keskeistä epävarmuustekijää. Sama epävarmuustekijä voi johtaa hyvin erilaisiin tulevaisuuksiin riippuen siitä, miten toimintaympäristö, päätöksenteko, teknologia, markkinat tai yhteiskunnallinen muutos etenevät.

Jokaisen epävarmuustekijän yhteydessä on tunnistettu siihen liittyviä mahdollisia tulevaisuustiloja. Ne ovat vaihtoehtoisia, nykytilan jatkumoa haastavia kuvauksia, ja skenaarioiden rakennuspalikoita. Tulevaisuustilat auttavat ymmärtämään, miten sama epävarmuus voi kehittyä eri suuntiin. Useampi tulevaisuustila voi myös toteutua rinnakkain eri toimijoille, eri alueilla tai metsäelinkeinojen eri osa-alueilla.

Tässä luvussa epävarmuustekijät ja tulevaisuustilat esitetään itsenäisinä ajattelua virittävinä kuvauksina.

Testaa nykyiset oletuksesi tarkastelemalla tulevaisuustiloja. Mitkä nykyiset oletuksesi, toimintamallisi tai strategiset valintasi toimivat kaikissa vaihtoehtoisissa – ja mitkä perustuvat siihen, että vain yksi tulevaisuus toteutuu?

Etsi heikot kohdat ja varautumistarpeet tarkastelemalla sellaisia tulevaisuustiloja, jotka tuntuvat epätodennäköisiltä, haastavilta tai epämurkavilta. Mitä riskejä ne paljastavat ja mihin tulisi varautua toimintakyvyn vahvistamiseksi?

Tunnista yhteisiä mahdollisuuksia vertailemalla useita epävarmuustekijöitä ja niiden tulevaisuustiloja. Mitkä ratkaisut ovat arvokkaita useissa erilaisissa tulevaisuuksissa riippumatta siitä, mikä kehityspolku lopulta toteutuu?

Datan rooli



Miten data, tekoäly ja laskenta muuttavat päätöksentekoa ja arvon jakautumista?

Automaatio ja työvoima



Miten automaatio muuttaa työn, osaamisen ja ihmisen roolin metsäelinkeinoissa?

Ilmastonmuutoksen vaikutukset



Miten ilmastonmuutos muuttaa metsien kasvua, riskejä ja ekologista perustaa?

Metsän omistajuus



Ketkä omistavat metsää ja millä tavoitteilla?

Sosiaalinen toimilupa



Millä ehdoilla metsien käyttö hyväksytään?

Suomalaisen puun kilpailukyky



Mihin suomalaisen puun arvo ja kilpailukyky perustuvat muuttuvilla markkinoilla?

Sääntely



Miten sääntely ohjaa metsäelinkeinojen toimintaa ja investointeja?

Materiaalikipailu



Miten puupohjaiset materiaalit menestyvät kiristyneessä materiaalikipailussa?

Energia



Miten energiajärjestelmän muutos muuttaa metsäelinkeinoja?

Globaalit markkinat



Kenen ehdoilla metsäteollisuuden globaalit markkinat kehittyvät?

Epävarmuustekijä: Data

Miten data, tekoäly ja laskenta muuttavat päätöksentekoa ja arvon jakautumista?

Datan kerääminen, hallinta ja hyödyntäminen muuttavat metsäelinkeinon arvoketjuja. Epävarmuus liittyy siihen, kuinka laajasti dataa hyödynnetään, kuka sitä hallitsee ja millaisilla tekoälyyn, laskentaan ja digitaalisiin kaksosiin perustuvilla ratkaisuilla metsiä, tuotantoa ja markkinoita ohjataan.

Data voi kehittyä suljetuksi kilpailueduksi, avoimeksi yhteiseksi infrastruktuuriksi, hajautetuksi omistajuuden välineeksi tai kansallisesti säännellyksi strategiseksi resurssiksi. Samalla ratkaistavaksi nousee, kenelle datasta syntyvä arvo kuuluu ja kuka saa käyttää sitä päätöksenteon perustana.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia datan roolille metsäelinkeinossa.



“Datan tehokas hyödyntäminen on avain menestykseen. Suomella on ylivertaista osaamista metsädatan hyödyntämisessä.”

Alustamonopoli

Metsäalan data, algoritmit ja digitaaliset kaksoset ovat keskittyneet muutamalle globaalille teknologiyhtiölle. Tekoäly ohjaa arvoketjua reaaliaikaisesti leimikoiden valinnasta logistiikkaan, tuotantoon ja investointeihin. Perinteiset metsäalan toimijat tuottavat dataa ja käyttävät alustojen tarjoamia analyysijä, mutta strateginen päätösvalta siirtyy niille, jotka hallitsevat malleja ja optimointia.

Avoin data

Metsätieto on laajasti saatavilla, reaaliaikaista ja yhteisesti hyödynnettävää. Satelliitit, sensorit ja avoimet tekoälymallit tekevät metsien tilasta, käytöstä ja vaikutuksista näkyviä yrityksille, viranomaisille, sijoittajille, järjestöille ja kansalaisille. Arvo ei synny datan sulkemisesta vaan kyvystä jalostaa avointa tietoa palveluiksi, innovaatioiksi ja päätöksenteon tueksi.

Datakaaos

Datan määrä kasvaa, mutta sen luotettavuus, yhteentoimivuus ja tulkinta horjuvat. Monitorointikatkot, kyberhäiriöt, datan manipulointi ja ristiriitaiset algoritmit aiheuttavat ketjureaktioita arvoketjussa. Päätöksenteko hidastuu, kun toimijat joutuvat varmistamaan tietoa manuaalisesti ja kiistelemään siitä, minkä mallin tuottama tieto on oikeaa.

Dataosuuskunnat

Metsänomistajat, koneyritykset, sahat ja muut alueelliset toimijat kokoavat dataa yhteisiin rakenteisiin. Omistajuus, käyttöoikeudet ja hyödynjako sovitaan yhdessä, ja yhteiset tekoälyratkaisut tukevat puun, hiilen, luontoarvojen ja palveluiden kaupallistamista. Arvo syntyy laadukkaasta datasta, yhteentoimivuudesta ja siitä, että hyödyt jäävät nykyistä selkeämmin datan tuottajille ja omistajille.

Kansallinen pilvi

Metsädata määritellään strategiseksi kansalliseksi resurssiksi. Julkisesti ohjattu järjestelmä hallinnoi kriittistä metsä- ja paikkatietoa, lisensoi sen käyttöä ja hyödyntää sitä huoltovarmuuden, hiilitaseen, luonnon monimuotoisuuden ja raaka-aineen saatavuuden ohjauksessa. Yritykset toimivat säännellyssä tietoeokosysteemissä, jossa kilpailukyky perustuu datan omistamisen sijaan luvalliseen pääsyyn ja kykyyn hyödyntää yhteisiä tietorakenteita.

Epävarmuustekijä: Automaatio ja työvoima

Miten automaatio muuttaa työn, osaamisen ja ihmisen roolin metsäelinkeinossa?

Automaatio muuttaa metsäelinkeinoon työtä monella tasolla: metsänhoidossa, korjuussa, logistiikassa, teollisissa prosesseissa, tutkimuksessa ja päätöksenteossa. Epävarmuus liittyy siihen, kuinka pitkälle automaatio etenee, missä tehtävissä ihminen säilyy välttämättömänä ja millaista osaamista metsäala tarvitsee vuonna 2050.

Automaatio voi ratkaista työvoimapulaa ja parantaa tuottavuutta, mutta se voi myös jakaa arvoketjua eri toimintamalleihin. Joissakin tulevaisuuksissa työ muuttuu etäohjatuksi ja pitkälle automatisoiduksi tuotantopalveluksi. Toisissa ihmisen paikallinen osaaminen, tilannetaju ja kyky tulkita luontoa nousevat kilpailueduksi.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia automaation, työn ja osaamisen suhteelle.



“Jälleen pitää synnyttää uutta osaamista ja vahvistaa monitieteellisyyttä.”

Etäohjattu

Metsätyö ja teolliset prosessit ovat pitkälle automatisoituja ja etäohjattuja. Kevyet robotit, autonomiset koneet ja tekoäly hoitavat istutusta, raivausta, korjuuta, logistiikkaa ja tuotannonohjausta reaaliaikaisesti. Fyysinen paikallaolo vähenee, ja osa työstä siirtyy globaaleille asiantuntijamarkkinoille, joilla suomalaisia metsiä ja tehtaita voidaan ohjata mistä päin maailmaa tahansa.

Metsäkuiskaajat ja tehoplantaasit

Metsäalan työ jakautuu kahteen erilaiseen logiikkaan. Osa puuntuotannosta tapahtuu pitkälle automatisoiduilla tehoplantaaseilla, joissa korostuvat tehokkuus, mittakaava ja standardoitu raaka-aine. Toisaalla tarvitaan paikallista, laadullista ja kulttuurisesti ymmärtävää metsänhoitoa, jossa teknologia tukee ihmisen kykyä havainnoida metsän tilaa ja tehdä tapauskohtaisia valintoja.

Hajautettu mikrotuotanto

Suuret keskitetyt tuotantoratkaisut ovat osin korvautuneet pienillä, autonomisilla ja siirrettävillä jalostusyksiköillä. Jalostus tapahtuu lähempänä raaka-ainetta, ja metsässä toimii kevyitä robotteja ja drooneja, jotka tekevät jatkuvaa täsmätyötä maaperää vähemmän kuormittaen. Työ ja osaaminen pirstaloituvat alueellisiksi kokonaisuuksiksi, joissa paikallinen teknologiaosaaminen ja omavaraisuus korostuvat.

Digitaalinen käsityö

Automaatio ei poista ihmisen merkitystä, vaan muuttaa työn korkeaa osaamista vaativaksi digitaalseksi käsityöksi. Tekoäly, robotiikka ja simulaatiot tukevat ammattilaisia puuerien, materiaalien, prosessien ja asiakaskohtaisten ratkaisujen hienosäädössä. Hiljainen tieto tallentuu digitaalisiin järjestelmiin, ja Suomen kilpailuetu perustuu kykyyn yhdistää teknologia, laatu ja inhimillinen ammattitaito.

Pirstaleinen automaatio

Automaatio etenee epätasaisesti ja jää monin paikoin yksittäisten työvaiheiden tueksi. Kyberriskit, komponenttipula, sääilmiöt, epävarmat markkinat ja järjestelmien haavoittuvuus korostavat toimintavarmuutta tehokkuuden sijaan. Ihmisen tilannetaju, korjauskyky ja paikallinen päätöksenteko säilyvät keskeisinä erityisesti tilanteissa, joissa data on puutteellista tai järjestelmät eivät toimi suunnitellusti.

Epävarmuustekijä: Ilmastomuutoksen vaikutukset

Miten ilmastomuutos muuttaa metsien kasvua, riskejä ja ekologista perustaa?

Ilmastomuutos muuttaa metsien kasvua, lajistoa, tuhoriskejä ja metsätalouden toimintaedellytyksiä. Epävarmuus liittyy siihen, millaiseksi muutoksen kokonaisvaikutus Suomessa muodostuu ja miten muutokset ajoittuvat: vahvistuuko puuntuotannon potentiaali suhteessa kilpailijoihin, kasvaako häiriöiden määrä vai muuttuuko metsien ensisijainen rooli puuntuotannosta ilmaston ja ekosysteemien vakautamiseen.

Muutokset voivat näkyä kasvukausien pitenemisenä, puulajisuhteiden muutoksina, tuholaiden ja sään ääri-ilmiöiden lisääntymisenä, korjuuolosuhteiden heilahteluna sekä hiilinieluihin ja vesitalouteen kohdistuvina paineina. Ilmastomuutoksen vaikutukset eivät kohdistu metsäelinkeinoon vain luonnon kautta, vaan myös rahoitukseen, vakuutettavuuteen, sääntelyyn ja markkinoiden ehtoihin.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat näitä vaihtoehtoisia kehityssuuntia ilmastomuutoksen vaikutuksille.



“Metsätuhot lisäävät aktiivisen metsänhoidon hyväksyttävyyttä ja metsien rakenteen monipuolistamista.”

Arktinen kasvuboomi

Lämpeneminen pidentää kasvukautta ja lisää puuston kasvua pohjoisilla alueilla. Puulajisto muuttuu lehtipuuvaltaisemmaksi, ja Suomi nousee Euroopan keskeiseksi biomassan tuottajaksi. Metsäelinkeinoon painopiste siirtyy niukkuuden hallinnasta kasvun ohjaamiseen, puuvirtojen kohdentamiseen ja nopeamman biologisen tuotannon hyödyntämiseen.

Jatkuva katastrofitila

Myrskyt, kuivuusjaksot, tuholaiset, metsäpalot ja roudattomat talvet tekevät metsätaloudesta katkonaista häiriöhallintaa. Suunnitelmallinen metsänhoito vaikeutuu, kun tuhot, korjuuolosuhteet ja toimitusvarmuus vaihtelevat nopeasti. Investointeja ohjaavat yhä enemmän vakuutettavuus, riskikelpoisuus ja kyky toimia tilanteissa, joissa luonnon fyysiset riskit ovat jatkuvasti läsnä.

Metsä sääkoneena

Metsien ensisijaiseksi tehtäväksi määrittyy paikallisen ilmaston, veden kierron ja hiilitaseen vakauttaminen. Metsien kyky viilentää, pidättää vettä, hillitä valumia ja sitoa hiiltä ohjaa päätöksentekoa enemmän kuin perinteinen puuntuotanto. Talouskäyttö on mahdollista vain silloin, kun se tukee ilmasto- ja ekosysteemipalveluita.

Talvipainotteinen viilenemisshokki

Ilmastojärjestelmän epälineaariset muutokset tekevät Suomen talvista aiempaa kovempia ja arvaamattomampia, vaikka globaali lämpeneminen jatkuu. Routa, lumikuormat, jää ja katkonaiset kasvukaudet muuttavat korjuun, logistiikan ja metsänhoidon reunaehdot. Metsäelinkeinoon kilpailukyky perustuu resilienssiin, toimitusvarmuuteen ja kylmän ilmaston puun laadullisiin ominaisuuksiin.

Havupuukato

Kuusi- ja mäntyvaltaisten metsien elinvoima heikkenee lämpöstressin, kuivuuden, tuholaiden ja vieraslajien seurauksena. Eteläiset lehtipuut, uudet puulajisekoitukset ja jalostetut hybridit yleistyvät, mikä muuttaa raaka-ainepohjaa. Sahateollisuus ja havupuuhun perustuva jalostus joutuvat sopeutumaan, kun taas kuitu-, kemia- ja biotuoteteollisuus hakevat kilpailuetua uudenlaisesta puulajistosta.

Epävarmuustekijä: Metsän omistajuus

Ketkä omistavat metsää ja millä tavoitteilla?

Metsän omistajuus muuttuu, kun väestö ikääntyy, omistus etääntyy metsän sijainnista ja metsään kohdistuvat odotukset monipuolistuvat. Epävarmuus liittyy siihen, nähdäänkö metsä ennen kaikkea taloudellisena omaisuutena, perintönä, hyvinvoinnin lähteenä, ekosysteemipalveluiden tuottajana vai digitaalisesti hallittavana sijoituskohteena.

Omistajuuden muutokset vaikuttavat puun tarjontaan, metsänhoidon aktiivisuuteen, luonnonhoitoon, hiili- ja luontomarkkinoihin sekä siihen, kuka käyttää päätösvaltaa metsien tulevasta suunnasta.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia metsän omistajuudelle.



“Rooli laajenee. Omistaja voi olla mahdollistaja, palveluntuottaja tai alihankkija globaaleissa ketjuissa.”

Passiivinen perintöarvo

Metsä on omistajalleen passiivinen omaisuuserä, johon ei liity vahvaa taloudellista tavoitetta tai aktiivista omistajuutta. Omistus säilyy perintönä, muistona tai mielenrauhan lähteenä, mutta metsää ei välttämättä hoideta aktiivisesti. Yksityismetsien puuntarjonta vähenee, vaikka puun hinta olisi korkea, ja metsien kasvu jää osin luonnonprosessien, myrskyjen ja tuholaiten ohjaamaksi.

Hiilisalkku

Metsänomistaja toimii ekosysteemipalveluiden tuottajana. Pystyssä oleva metsä on taloudellisesti arvokkaampi kuin kaadettu puu, ja tulot kertyvät hiilen sidonnasta, monimuotoisuudesta, vesien suojelusta ja muista luontoarvoista. Puuta myydään vain silloin, kun se tukee metsän resilienssiä tai parantaa kokonaisvaikutusta hiilen ja luonnon kannalta.

Hyvinvointiomaisuus

Metsä nähdään yhteisön hyvinvoinnin, terveyden ja paikallisen elinvoiman lähteenä. Omistaja toimii yhä useammin virkistys-, hiljaisuuden, maisemanhoidon ja luontokokemusten mahdollistajana. Metsien käyttöä ohjataan reiteillä, sopimuksilla ja käyttöoikeuksilla, ja talouskäyttö sovitetaan virkistys-, terveys- ja luontoarvojen rinnalle.

Tokenisoitu metsäpörssi

Metsäomistus pilkkoutuu digitaalisiksi osuuksiksi, joita voidaan ostaa ja myydä nopeasti globaaleilla tai kansallisilla markkinoilla. Tekoälyagentit optimoivat omistajien puolesta puun, hiilen, luontoarvojen ja virkistyspalveluiden tuottoa. Fyysinen läsnäolo etääntyy metsän arjesta, ja omistajuudesta tulee osin finanssituote, jonka päätöksiä ohjaavat data, algoritmit ja sijoittajien preferenssit.

Dynastinen suojelija

Suvut, säätiöt ja pitkäjänteiset omistajayhteisöt sitoutuvat metsien hoitoon sukupolvien yli. Metsän käyttöperiaatteita lukitaan sadan vuoden hallinnointisopimuksilla, joissa taloudellinen hyöty sovitetaan luonnonpääoman, identiteetin ja perinnön vaalimiseen. Puuta myydään rajoitetusti ja ensisijaisesti silloin, kun se tukee metsän terveyttä, rakennetta ja resilienssiä.

Epävarmuustekijä: Sosiaalinen toimilupa

Millä ehdoilla metsien käyttö hyväksytään?

Sosiaalinen toimilupa kuvaa sitä, millä ehdoilla metsien käyttö koetaan yhteiskunnallisesti hyväksyttäväksi Suomessa, EU:ssa ja globaalisti. Epävarmuus liittyy siihen, mihin hyväksyttävyys tulevaisuudessa perustuu: lakiin, paikalliseen päätösvaltaan, kansalliseen hyötyyn, EU-tason ohjaukseen, kansainväliseen todentamiseen, metsien ekologisen tilan paranemiseen vai siihen, että metsätalous siirtyy suuren yleisön arjessa yhä kauemmas näkyvistä.

Metsien käyttö ei ole vain taloudellinen tai ekologinen kysymys, vaan myös luottamuksen, oikeudenmukaisuuden ja arvojen kysymys. Vuoteen 2050 mennessä hyväksyttävyys voi vahvistua, jos ala pystyy osoittamaan myönteisiä vaikutuksia, tai heikentyä, jos metsien käyttö nähdään ristiriitaisena suhteessa luontoon, ilmastoon, paikallisiin kokemuksiin tai kansainvälisiin odotuksiin.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia sosiaaliselle toimiluvulle.



“Jokaisenoikeudet eivät saa heikentyä. Metsä on kansallinen vastuu.”

Poikkeuslupatalous

Metsätalous on menettänyt laajan yhteiskunnallisen oikeutuksensa, ja teollinen puuntuotanto on oletusarvoisesti rajoitettua. Hakkuut ja muut toimenpiteet edellyttävät raskaita lupaprosesseja, kuulemisia ja vaikutusten todentamista. Osa arvoketjusta siirtyy ulkomaille tai vaihtoehtoihin kuituihin, ja Suomessa korostuvat tutkimus, suunnittelu, erikoistuotteet sekä rajatut erikoiserät.

Integroitu symbioosi

Metsätalous ja luonnon monimuotoisuus nähdään toisiaan tukevana. Alan toimilupa perustuu siihen, että metsien käyttö tuottaa todennettavasti sekä taloudellista hyvinvointia että paranevaa luonnon tilaa. Konfliktien sijaan korostuvat jatkuva vuoropuhelu, reaaliaikainen tieto ja yhteinen ymmärrys ekosysteemien tilasta.

Paikallinen veto-oikeus

Metsien käytön hyväksyttävyys ratkaistaan paikallisesti. Asukkailla, kunnilla tai alueellisilla yhteisöillä on vahva vaikutusvalta hakkuisiin ja hoitotapoihin, ja toimilupa on ansaittava alue kerrallaan. Puuraaka-aineen saatavuus ei määräydy vain metsävarojen tai omistajan päätösten perusteella, vaan myös paikallisen hyväksynnän, kumppanuuksien ja kompensatioiden kautta.

Virtuaalinen vieraantuminen

Suuri osa väestöstä etääntyy fyysisistä talousmetsistä, ja luontosuhde rakentuu yhä enemmän digitaalisten elämysten, palvelujen ja tuotteiden kautta. Metsätalous toimii tehokkaasti mutta näkymättömästi, kunhan se täyttää tiukat vastuullisuus-, kestävyys- ja sijoittaja-vaatimukset. Toimilupa perustuu vähemmän tunnetseen metsiin ja enemmän jatkuvasti todennettuihin mittareihin.

Kansallissankari

Metsäala nähdään kansallisena ylpeydenaiheena ja aktiivisena ratkaisijana ilmasto- ja luontokriisissä. Alan ammattilaiset toimivat ekosysteemien tilan parantajina, ja metsien käytön hyväksyttävyys perustuu mitattaviin nettopositiivisiin vaikutuksiin. Luottamus syntyy siitä, että metsien tila paranee, vaikutukset todennetaan avoimesti ja korjaavat toimet käynnistyvät, jos tavoitteista jäädään.

Epävarmuustekijä: Suomalaisen puun kilpailukyky

Mihin suomalaisen puun arvo ja kilpailukyky perustuvat muuttuvilla markkinoilla?

Suomalaisen puun kilpailukyky muuttuu, kun raaka-aineiden kysyntä, jalostusteknologiat, materiaalistandardit ja globaalit tuotanto-olosuhteet kehittyvät. Epävarmuus liittyy siihen, perustuuko suomalaisen puun arvo jatkossa sen biologisiin ominaisuuksiin, jäljitettävyyteen, puhtauteen ja alkuperään, jalostusosaamiseen vai kykyyn hyödyntää puun jokainen osa mahdollisimman korkean arvon tuotteiksi.

Kilpailukyky voi siirtyä puusta itsestään osaamiseen, teknologiaan, aineettomiin oikeuksiin ja kykyyn rakentaa globaaleja biopohjaisia ratkaisuja.

Seuraavat kuusi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia suomalaisen puun kilpailukykyille.



”Panostus materiaaleihin, joissa Suomella on kilpailuetu.”

Materiaaliriippumattomuus

Jalostusprosessit kehittyvät niin pitkälle, että raaka-aineen alkuperäiset ominaisuudet menettävät merkitystään. Puu, olki, eukalyptus, kierrätyskuitu ja muut biomassavirrat voidaan pilkkoa perusosiksi ja muokata halutuiksi materiaaleiksi. Suomalaisen puun kilpailuetu ei tällöin perustu luontaiseen laatuun vaan prosessitehokkuuteen, kustannuksiin ja kykyyn hyödyntää erilaisia syötteitä.

Geneettiset kopiot

Nopeutettu jalostus ja geeniteknologiat mahdollistavat puuraaka-aineen, joka jäljittelee pohjoisen havupuun tai koivun ominaisuuksia nopeakasvuisilla plantaaseilla. Jos tasalaatuista ja teknisesti vastaavaa kuitua voidaan kasvattaa lähempänä suuria markkinoita huomattavasti nopeammin, suomalainen puu menettää osan biologisesta erityisasemaansa. Kilpailu kiristyy erityisesti volyymi- ja perusmateriaalimarkkinoilla.

Molekyylilikulta

Suomalaisen puun arvo perustuu pohjoisen lajiston kemialliseen koostumukseen, puhtauteen, jäljitettävyyteen ja erityisiin molekyylikomponentteihin. Puu nähdään uusiutuvana raaka-ainevarantona, josta voidaan erottaa arvokkaita yhdisteitä lääketeollisuuden, kosmetiikan, akkujen, hienokemian ja vaativien materiaalien tarpeisiin. Kilpailuetu syntyy laadusta, alkuperän luotettavuudesta ja kyvystä jalostaa puuta korkean arvon sovelluksiin.

Biotalouden piilaakso

Suomen metsäsektori muuttuu raskaasta raaka-aine- ja prosessiteollisuudesta osaamisen, patenttien, biokemiallisten reseptien ja metsänhallintamallien vientiliiketoiminnaksi. Varsinainen kuitu voidaan kasvattaa ja jalostaa muualla, mutta suomalainen arvo syntyy teknologioista, suunnittelusta, tutkimuksesta ja aineettomista oikeuksista. Kotimaan metsät toimivat tutkimus-, testaus- ja referenssialustoina.

Nollahukka

Suomi onnistuu hyödyntämään puun jokaisen osan korkean arvon materiaalivirtoina. Selluloosa, ligniini, hemiselluloosa, kuori, hake ja muut sivuvirrat ohjataan tarkasti eri käyttötarkoituksiin, eikä tuotantoprosesseissa jää mitään hyödyntämättä. Kilpailukyky perustuu resurssitehokkuuteen, jalostusarvoon ja kykyyn optimoida materiaalivirrat kysynnän mukaan.

Soluviljelty puu

Synteettinen biologia ja tekoälypohjainen materiaalisuunnittelu mahdollistavat puukuidun ja solurakenteiden kasvattamisen teollisesti ilman metsää. Tasalaatuista biomateriaalia voidaan tuottaa lähellä kulutuskeskuksia ja räätälöidä suoraan käyttötarkoitukseen. Perinteinen metsäpuu menettää asemansa massatuotteissa ja jää erikoiskäyttöihin, joissa alkuperällä, aitoudella tai pohjoisen puun ominaisuuksilla on erityistä arvoa.

Epävarmuustekijä: Sääntely

Miten sääntely ohjaa metsäelinkeinon toimintaa ja investointeja?

Sääntely määrittää yhä vahvemmin metsäelinkeinon liikkumatilaa, markkinoille pääsyä ja investointien edellytyksiä.

Epävarmuus liittyy siihen, kuinka nopeasti sääntely muuttuu, miten ennakoitavaa se on ja missä määrin sitä ohjaavat kansallinen päätöksenteko, EU-tason velvoitteet, globaalit sopimukset, markkinoiden omat standardit tai reaaliaikainen data.

Samalla sääntelyn tapa voi muuttua: se voi olla ennakoitavaa ja yhdenmukaista, dynaamista ja algoritmista, kokeiluja mahdollistavaa, markkinoille siirtyvää tai takautuvasti vastuuta määrittävää.

Seuraavat viisi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia sääntelyn roolille metsäelinkeinossa.

Algoritminen sääntely

Sääntely perustuu reaaliaikaiseen ekosysteemi-dataan ja tekoälypohjaiseen analyysiin. Hakkuurajoitukset, suojeluvelvoitteet, lannoitusluvut ja muut ohjauskeinot muuttuvat paikallisen luonnon tilan, hiilinielujen ja biodiversiteetin perusteella. Toimijoiden järjestelmät saavat operatiiviset ohjeet suoraan viranomaisilta tai valvonta-alustoilta, mikä lisää tarkkuutta mutta heikentää perinteistä juridista ennakoitavuutta.

Globaali pelikirja

Kansainväliset sopimukset, kauppajärjestelmät ja ympäristöstandardit muodostavat yhdenmukaisen sääntelykehiksen metsien käytölle ja biotaloudelle. Samat kriteerit koskevat raaka-aineen alkuperää, hiilivaikutuksia, biodiversiteettiä ja kestävyyttä yli valtiorajojen. Sääntely on vakaata ja ennakoitavaa, mutta kilpailu ohjautuu alueille, joilla luonnonolosuhteet, kustannukset ja markkina-asema ovat vahvimmat.

Sääntelytyhjiö

Viranomaisohjaus väistyy, ja metsäalan hallinta perustuu markkinaehtoihin sertifikaatteihin, sijoittajien kriteereihin ja asiakkaiden vastuullisuusvaatimuksiin. Yrityksillä on enemmän vapautta innovoida ja erottua, mutta ne kantavat myös suuremman vastuun kestävyytensä todentamisesta. Lainsäädännön tarjoama normisuoja heikkenee, ja maineriskit sekä sopimusperusteiset vaatimukset ohjaavat toimintaa.

Kokeileva hiekkalaatikko

Sääntelyä käytetään innovaatioiden mahdollistajana. Suomi tai EU luo rajattuja kokeilualueita ja nopeutettuja menettelyjä, joissa voidaan testata esimerkiksi uusia puulajeja, geeniteknologioita, autonomisia koneita, dataratkaisuja tai ennallistamisen malleja. Perussääntely voi pysyä tiukkana, mutta valikoiduilla alueilla toimijat saavat tilaa kehittää ja todentaa uusia ratkaisuja.

Takautuva vastuu

Sääntely alkaa ulottaa vastuuta menneisiin toimiin. Yritykset, omistajat tai toimialat voivat joutua raportoitmaan, korvaamaan tai ennallistamaan aiempia metsien käyttöön, päästöihin tai luontovaikutuksiin liittyviä päätöksiä uusien normien perusteella. Oikeusvarmuus heikkenee, ja pitkän aikavälin investointeihin sisältyy riski siitä, että nykyisin hyväksyttävä toiminta arvioidaan tulevaisuudessa uudelleen.

Epävarmuustekijä: Materiaalikipailu

Miten puupohjaiset materiaalit menestyvät kiristyneessä materiaalikipailussa?

Materiaalikipailun keskeinen asetelma liittyy uusiutuvan ja fossiilisen raaka-ainepohjan hyväksyttävyyteen, hintaan ja kierrätettävyyteen. Laajemmin tarkasteltuna puupohjaiset materiaalit kilpailevat samoista käyttökohteista kierrätettyjen, synteettisten ja muiden vaihtoehtoisten materiaalien kanssa.

Epävarmuus liittyy siihen, millä perusteilla materiaalien hyväksyttävyys ja kilpailukyky tulevaisuudessa määrittyvät: painottuvatko uusiutuvuus, hiilijalanjälki, kierrätettävyys, hinta, tekninen suorituskyky, saatavuus vai vaikutukset maankäyttöön ja luontoon.

Fossiilisten materiaalien asema voi heikentyä suhteessa puupohjaisiin, jos neitseellisen fossiilisen hiilen käyttöä rajoitetaan, mutta vahvistua, jos jo käyttöön otettu hiili saadaan pysymään suljetussa kierrossa. Samalla puu kilpailee esimerkiksi maatalouden sivuvirtojen, kuitukasvien, levien, bambun ja synteettisesti tuotettujen biomateriaalien kanssa.

Seuraavat neljä tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia materiaalikipailulle.

Biovaltakausi

Uusi materiaalituotanto perustuu laajasti uusiutuvaan biomassaan. Fossiilisten raaka-aineiden käyttöä on rajoitettu voimakkaasti, ja puu korvaa neitseellisiä fossiilisia raaka-aineita tekstiileissä, pakkauksissa, rakentamisessa, kemikaaleissa ja korkean teknologian sovelluksissa. Metsäteollisuus toimii koko yhteiskunnan materiaalipohjan uudistajana, ja puun kysyntä sekä arvo ovat korkealla.

Fossiilinen ikiliikkuja

Olemassa oleva fossiilinen hiili pysyy tehokkaassa kierrossa kemiallisen kierrätyksen, hiilen talteenoton ja kehittyneiden prosessien avulla. Uutta öljyä ei tarvita, mutta ei myöskään yhtä paljon neitseellistä biomassaa. Puupohjaiset materiaalit joutuvat kilpailemaan halpojen ja vakiintuneiden kierrätettyjen fossiilisten materiaalivirtojen kanssa, jolloin metsien rooli painottuu enemmän hiilinieluihin ja suojeluun kuin materiaalituotantoon.

Synteettisen voitto

Materiaaleja valmistetaan suoraan ilmakehän hiilestä tai muista synteettisistä syötteistä ilman metsä- tai maatalouspinta-alaa. Halpa energia, hiilen talteenotto ja tekoälypohjainen materiaalisuunnittelu mahdollistavat biomuovin, kuitujen ja puuta jäljittelevien materiaalien teollisen tuotannon. Perinteisen puun strateginen asema heikkenee massamarkkinoilla, ja metsäpuu säilyttää merkitystä lähinnä erityisissä, alkuperää tai aitoutta korostavissa käyttökohteissa.

Kiertävä monimateriaali

Materiaalien alkuperä menettää merkitystään, kun markkinat arvioivat tuotteita ennen kaikkea hiilijalanjäljen, kierrätettävyyden, hinnan ja suorituskyvyn perusteella. Puu, kierrätyskuitu, fossiilinen kiertomateriaali ja synteettiset materiaalit ovat monissa käyttökohteissa keskenään vaihdettavia. Kilpailuetu syntyy kyvystä hallita molekyyli- ja prosessointitasolla ja optimoida raaka-ainevirtoja joustavasti kysynnän mukaan.

Epävarmuustekijä: Energia

Miten energiajärjestelmän muutos muuttaa metsäelinkeinoa?

Energia on metsäelinkeinolle sekä tuotannon edellytys että osa arvoketjua. Metsäteollisuus kuluttaa energiaa, mutta tuottaa sitä myös hyödyntämällä sivuvirtoja, kuten kuorta ja mustalipeää. On epävarmaa, missä määrin puun ja sivuvirtojen poltto säilyy hyväksyttävänä ja kannattavana. Lisäksi epävarmuutta liittyy energiamurroksen etenemiseen, sähköistymisen aikatauluun sekä siihen, miten teollisuuden energiatehokkuutta voidaan parantaa uudelleensuunnittelulla.

Metsäelinkeino voi tulevaisuudessa olla energiajärjestelmän aktiivinen osa energian tuottajana, varastojana, joustajana tai uuden energiatalouden hyödyntäjänä. Toisaalta energian hinta, saatavuus ja infrastruktuuri voivat muodostua pullonkaulaksi uusille investoinneille ja siirtää energiantensiivistä jalostusta muualle.

Seuraavat neljä tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia energian roolille metsäelinkeinossa.



“Tarvitaan kannustimia siirtyä biomassan polttamisesta korkeamman jalostusasteen tuotteiden tuottamiseen.”

Vetyhubit

Metsäteollisuuden integraatit toimivat vihreän energian keskuksina. Tehtailla tuotetaan vetyä ja synteettisiä polttoaineita vientiin ja kotimaan käyttöön. Biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen kytkevät puunjalostuksen osaksi uutta energiataloutta. Tehdasalueet ovat energian tuotannon, kemiallisen varastoinnin ja kansallisen energiavarmuuden solmukohtia.

Sähköistyminen

Metsäketjun toiminnot korjuusta logistiikkaan ja tehdasprosesseihin sähköistyvät laajasti. Tuotanto mukautuu sähkön saatavuuden ja hinnan mukaan, ja tehtaات osallistuvat sähköverkon tasapainottamiseen. Energiaintensiiviset vaiheet on suunniteltu uudelleen energiatehokkuuden ja joustavuuden ehdoilla.

Kallis energia

Energian hinta ja siirtoinfran puutteet rajoittavat korkean jalostusasteen tuotantoa Suomessa. Energiaintensiivinen jalostus keskittyy alueille, joilla sähkö on halvempaa, vakaammin saatavilla tai paremmin tuettua. Suomessa painottuvat raaka-aineen mekaaninen esikäsittely, alkujalostus ja vähemmän energiaa vaativat tuotantovaiheet.

Energiasaarekkeet

Tehtaat ja logistiikkakeskukset toimivat omissa paikallisissa energiajärjestelmissään. Mikroverkot, paikallinen tuuli, geoterminen lämpö, pienydinvoima, akut ja vetyvarastot turvaavat tuotannon jatkuvuutta. Tuotannon mittakaava ja sijainti määräytyvät paikallisen energian saatavuuden, varastoinnin ja toimintavarmuuden mukaan.

Epävarmuustekijä: Globaalit markkinat

Kenen ehdoilla metsäteollisuuden globaalit markkinat kehittyvät?

Metsäteollisuuden globaalit markkinat rakentuvat kysynnän, geopolittisten jännitteiden, kauppapolitiikan, ilmasto- ja luontovaatimusten sekä teknologisen kehityksen yhteisvaikutuksesta. Epävarmuus liittyy siihen, missä arvoketjun kohdassa valta ja arvonluonti tulevaisuudessa painottuvat: raaka-aineeseen, jalostukseen, standardeihin, asiakassuhteeseen, dataan, kauppablokkeihin vai valtioiden strategiaan intresseihin.

Suomalaisen metsäelinkeinojen asema voi muuttua eri tavoin eri markkinoilla ja tuoteryhmissä. Samaan aikaan kun osa kaupasta voi alueellistua tai politisoitua, osa voi automatisoitua, osa siirtyä brändien ohjaukseen ja osa kiristyä hintakilpailuksi. Tulevaisuustilat eivät sulje toisiaan pois, vaan ne kuvaavat erilaisia nykytilasta poikkeavia kehityssuuntia, joista voi toteutua useampi rinnakkain globaaleilla markkinoilla.

Seuraavat kuusi tulevaisuustilaa kuvaavat vaihtoehtoisia kehityssuuntia globaalien markkinoiden muutokselle.



“Miten vältetään skenaariot, joissa Suomi tai Eurooppa on menettänyt kilpailukykynsä?”

Brändien metsät

Globaalit loppukäyttäjät, erityisesti rakennus- ja kuluttajabrändit, määrittävät metsäteollisuuden arvoketjut kokonaisvaltaisesti. Ne omistavat tai ohjaavat raaka-aineen, jalostuksen, datan ja asiakassuhteen varmistamiseen vastuullisuuden, toimitusvarmuuden ja marginaalit. Metsästä tulee osa brändin vastuullisuutta ja raaka-ainestrategiaa.

Ohjattu klusteri

Metsäsektori järjestäytyy valtion tukemaksi ja ohjaukselliseksi strategiseksi klusteriksi. Markkinaehtoisuuden rinnalle nousevat huoltovarmuus, kansallinen materiaaliarve, energia, hiilinielut ja työpaikkojen turvaaminen. Puusta tulee kriittinen strateginen materiaali, jonka vientiä, jalostusta ja käyttöä ohjataan osana kansallista ja geopolittista kokonaisuutta.

Vihreät liittoutumat

Maailmankauppa jakautuu arvo-, hiili- ja kestävyyskriteereihin perustuviin kauppablokkeihin. Suomi kytkeytyy tiiviisti Euroopan vihreisiin arvoketjuihin, joissa puu, kuitu ja biopohjaiset tuotteet liikkuvat yhteisten standardien ja todentamisjärjestelmien mukaan. Blokkien ulkopuolinen kauppa kohtaa hiilitulleja, auditointeja ja tiukkoja markkinoille pääsyn ehtoja.

Idän ehdot

Aasian taloudet, erityisesti Kiina, määrittävät markkinoiden kysyntää, laatukriteerejä ja hintatasoa. Kiinan omavaraisuus hybridi- ja plantaasikuiduissa sekä synteettisissä materiaaleissa vähentää riippuvuutta länsimaisesta sellusta ja puuraaka-aineesta. Suomalainen metsäelinkeino joutuu hakemaan uusia käyttökohteita, erikoistuotteita ja markkinoita tilanteessa, jossa standardit ja innovaatiot painottuvat yhä enemmän Aasiaan.

Automaattiset markkinat

Puu, kuitu, hiilivarannot ja käyttöoikeudet liikkuvat lohkoketjupohjaisilla, tekoälyn ohjaamilla kaupankäyntialustoilla. Kauppa, sertifiointi, tullit, hiilimaksut ja jalostuksen ohjaus tapahtuvat reaaliaikaisesti datan perusteella. Fyysinen raaka-aine jalostetaan siellä, missä se on logistisesti, ekologisesti ja taloudellisesti optimaalisinta, mutta arvonluonnon painopiste siirtyy alustojen, datan ja digitaalisen omistajuuden hallintaan.

Arvoketjun laajentajat

Suuret metsävarannot omaavat ja hinnalla kilpailevat maat hyödyntävät mittakaavaa, julkista ohjausta ja pääomaa laajentaakseen rooliaan raaka-aineen tuotajista arvoketjun aktiivisiksi hallitsijoiksi, ulottuen jalostukseen, logistiikkaan ja markkinoille pääsyyn asti. Nämä toimijat soveltavat kestävyys- ja jäljitettävyysskriteerejä valikoivasti.



Etelä

Oppimisskenaariot



Oppimisskenaariot



Mitä oppimisskenaariot ovat – ja mitä ne eivät ole?

Skenaariot ovat tutkimukseen perustuvia vaihtoehtoisia, johdonmukaisia ja yllättäviäkin kuvauksia siitä, millaiseksi toimintaympäristö voi tulevaisuudessa kehittyä. Niiden tarkoituksena ei ole ennustaa tulevaisuutta, vaan auttaa ymmärtämään muutoksen mahdollisia suuntia, tunnistamaan riskejä ja mahdollisuuksia sekä haastamaan nykyisiä oletuksia.

Tässä raportissa skenaarioita tarkastellaan oppimisskenaarioina. Lähestymistapa nojaa strategisen ennakkoinnin ajatteluun, jossa skenaarioiden tehtävänä on tukea oppimista ja päätöksentekoa [3]. Oppimisskenaariot on muodostettu yhdistämällä keskeisiä epävarmuustekijöitä ja niiden vaihtoehtoisia tulevaisuustiloja konsistenssilysin avulla. Oppimisskenaariot ovat tarkoituksella rajattuja ja signaalien avulla konkretisoituja perinteisiä laajoja skenaariokuvauksia helpommin hahmotettavia tulevaisuuskuvia, joiden tehtävänä on herätellä ja oivalluttaa: laajentaa päätöksenteon näkökulmaa tarkastelemalla useita vaihtoehtoisia tulevaisuuksia samanaikaisesti.

Oppimisskenaariot ovat:

- vaihtoehtoisia ennakkointiin perustuvia tulevaisuuskuvia
- välineitä oppimiseen, keskusteluun, oletusten haastamiseen ja arvokkaiden kysymysten tunnistamiseen
- keino tunnistaa mahdollisuuksia, riskejä ja menestymisen edellytyksiä erilaisissa tulevaisuuksissa

Oppimisskenaariot eivät ole:

- ennusteita tai todennäköisimpiä tulevaisuuksia
- valmiita tavoitetoja, visioita tai strategioita
- yksittäisiä totuuksia siitä, miten tulevaisuus väistämättä kehittyy



”Skenaarioyhdistelmät luovat lisää täysin uusia ajatuksia.”

Miten hyödynnät oppimisskenaarioita ja tämän osion sisältöjä?

Testaa nykyiset strategiat ja suunnitelmat

Tarkastele, miten nykyiset strategiat, investoinnit, kyvykkyydet ja liiketoimintamallit toimisivat eri oppimisskenaarioiden toimintaympäristöissä. Mitkä valinnat näyttäivät toimivan useissa tulevaisuuksissa, ja mitkä perustuvat riskialttiiseenkin oletukseen vain yhdestä mahdollisesta kehityssuunnasta?

Tunnista mahdollisuudet ja riskit ennen muita

Lue skenaarioita aktiivisesti ja etsi niistä uusia markkinoita, kumppanuuksia, kyvykkyystarpeita ja liiketoimintamahdollisuuksia. Kiinnitä samalla huomiota riskeihin, riippuvuuksiin ja haavoittuvuuksiin, jotka voivat uhata nykyistä toimintalogiikkaa. Pysähdy erityisesti niiden oppimisskenaarioiden äärelle, jotka tuntuvat epämukavilta ja tunnista muutokset, joita organisaationne haluaa estää toteutumasta!

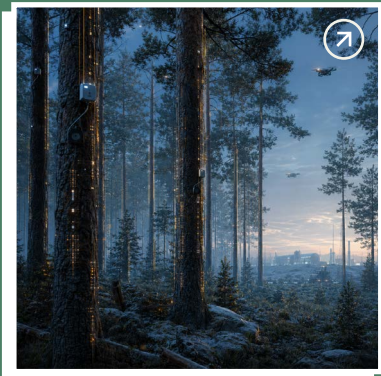
Tunnista tulevaisuuden voittavat arverkostot

Vertaa skenaarioita keskenään ja etsi niistä toistuvia menestystekijöitä. Millaiset toimijat, kumppanuudet ja ekosysteemit näyttäivät vahvistuvan useissa tulevaisuuksissa? Mitä tämä tarkoittaa oman organisaatiosi asemalle, yhteistyölle ja strategisille valinnoille jo tänään? Näistä havainnoista saattaa muotoutua kestäviä visioita ja toimenpiteitä, joita organisaationne haluaa omalta osaltaan edistää!

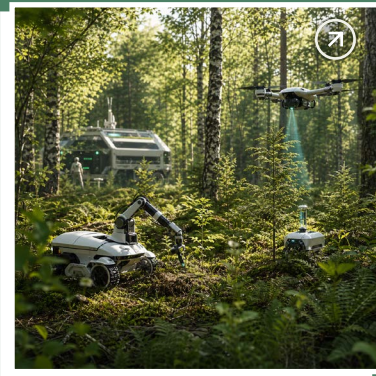
Oppimisskenaariot



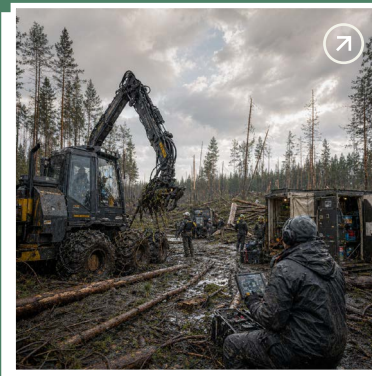
i Aloita skenaarista, joka tuntuu kiinnostavalta, epämukavalta, ja joka haastaa eniten omia oletuksiasi.



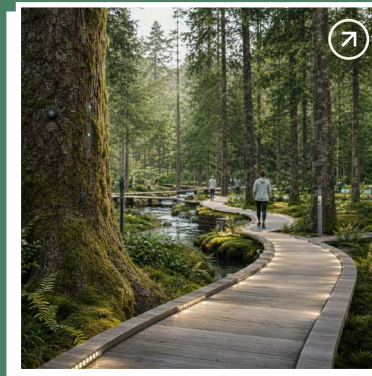
algoritminen arvoketju



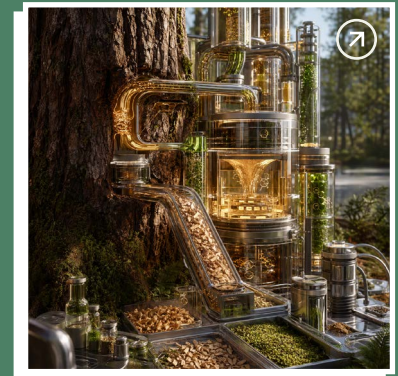
kokeilulaboratorio



häiriötila



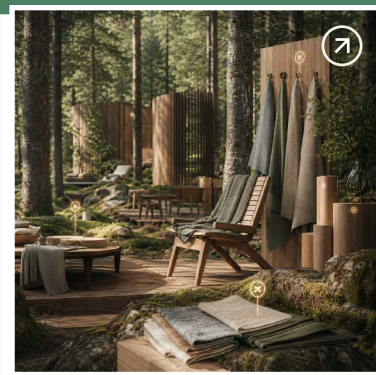
säännelty luontoinfra



resurssiviisas materiaalikierto



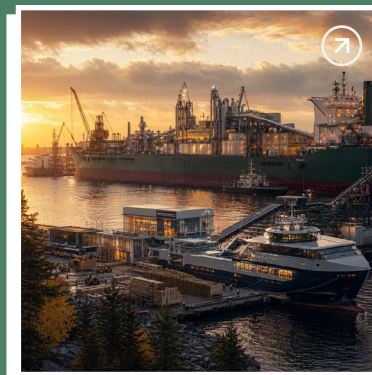
patenttitehdas



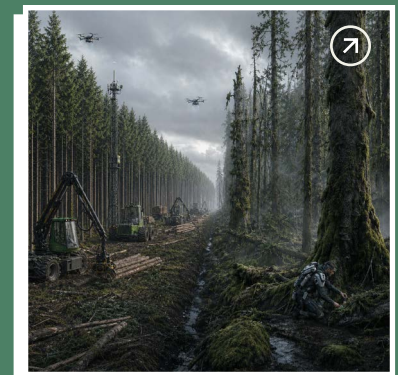
brändien metsät



idän ehdot



arvoketjun laajentajat



läpinäkyvä kahtiajakoisuus

Algoritminen arvoketju



Nykytilasta, jossa metsänhoitoa ohjaavat ihmisvetoiset käytännöt ja paikallinen omistajuus, kohti globaalia, algoritmien optimoimaa ja täysin automatisoitua arvoketjua, jossa metsä on pörssissä vaihdettava digitaalinen omaisuus.

Ilmaston lämpeneminen on kiihdyttänyt puiden kasvua, tehden Suomesta Euroopan tärkeimmän biomassan tuottajan. Metsän omistus on pirstoutunut digitaalisiksi osuuksiksi, joita vaihdetaan globaaleilla markkinoilla; päätöksenteko ja pääoma ovat siirtyneet Suomen ulkopuolelle.

Metsäelinkeino toimii osana globaalia dataekosysteemiä, jossa algoritmit yhdistävät tarjonnan ja kysynnän reaaliaikaisesti. Metsänhoitoa, hakkuita ja logistiikkaa ohjataan satelliitti- ja sensoridatan perusteella. Puun hinta, hiilensidonta ja biodiversiteetti optimoidaan markkinasignaalien mukaan, ja jokainen runko on jäljitettävissä digitaalisesti. Hakuut, kuljetukset ja jalostus ajoitetaan algoritmien tuottamien ennusteiden perusteella. Algoritmit yhdistävät tarjonnan ja kysynnän reaaliaikaisesti ja ohjaavat materiaalivirtoja optimaalisesti.

Valta on keskittynyt globaaleille alustamonopoleille, jotka hallitsevat reaaliaikaista dataa ja optimointimalleja sekä keräävät voitot. Suomessa arvo syntyy biomassan tuottamisen ohella kyvystä mitata, todentaa ja myydä metsään liittyviä hyötyjä kansainvälisillä markkinoilla. Työvoiman painopiste on siirtynyt tekniseen ylläpitoon ja algoritmien hallintaan; perinteiset suorittavat ammatit on korvattu kaupungeista käsin etäohjausta tekevillä data-analyytikoilla ja järjestelmäoperaattoreilla.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Metsän eri hyötyjen (hiilensidonta, puu, monimuotoisuus, käyttöoikeus) myynti erikseen ja reaaliaikaisesti.
- Suomalainen metsäelinkeino erottautuu satelliitti- ja kvanttiteknologian sekä sensoridatan osaamisella.
- Metsänomistajat saavat maksimaalisen hyödyn ja arvon omistuksestaan.

△ Riskejä ja uhkia

- Päätösvalta metsien käytöstä ja arvon jakautumisesta siirtyy algoritmeille ja niitä hallitseville globaaleille alustoille.
- Raaka-aineen ja luontoarvojen hintojen heilahtelu nopeasti markkinaspekulaation seurauksena.
- Paikallisen metsänhoidon osaaminen ja alueellisen työn kapeutuminen.

🕒 Entä jos...

- markkinaspekulaatio aiheuttaa sekä ekologisia että taloudellisia vaurioita?
- luotettava data-alusta on suomalainen vientituote, joka yhdistää laajasti osaamisen?

Algoritminen arvoketju

teknologinen



Teollinen etäoperointi

Automaatio, kehittyneet prosessinohjausjärjestelmät ja nopeat tietoliikenneyhteydet siirtävät teollisten laitosten valvontaa ja ohjausta pois tuotantolaitoksilta kohti keskitettyjä etäoperaatiokeskuksia. Fyysinen läsnäolo tehtailla vähenee, kun prosesseja voidaan seurata, analysoida ja ohjata etänä reaaliaikaisen datan, digitaalisten kaksosten ja tekoälypohjaisten päätöksentuen avulla. Muutos vaikuttaa työn sisältöihin, osaamisvaatimuksiin ja työn maantieteelliseen sijoittumiseen: perinteinen vuorotyö tuotantolaitoksilla korvautuu yhä useammin valvomo- ja asiantuntijatyöllä, joka voidaan sijoittaa kaupunkeihin tai alueellisiin osaamiskeskittyihin.

ESIMERKKI / TEOLLISUUDEN ETÄVALVONTA

Valmet Performance Center on teollisuuden etäpalvelukeskus, jossa prosessidataa ja laitteiden tilaa monitoroidaan etäyhteyksien kautta ja asiantuntijoiden kanssa analysoidaan reaaliaikaista dataa optimoinnin, diagnostiikan ja tuen tarjoamiseksi. Etävalvonnan ja analytiikan avulla voidaan tunnistaa poikkeamat tuotantoprosesseissa, diagnosoida juurisyvät nopeasti ja ehdottaa korjaavia toimenpiteitä ilman fyysistä läsnäoloa tuotantolaitoksella. [4]

— Globaalin teollisen etävalvonnan ja -ohjauksen markkinan arvioidaan kasvavan noin 23,9 miljardista dollarista (2024) 32,8 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä (CAGR 5,6 %). [5]

taloudellinen



Algoritminen puukauppa

Puukaupan hinnat, ostotarpeet ja toimitukset alkavat määräytyä reaaliaikaisesti kaukokartoituksen, varastotietojen, sääennusteiden ja tuotannon kysyntädatan perusteella. Tekoälymallit ennustavat puutavaralajien tarvetta, korjuukelpoisuutta ja logistiikan kapasiteettia sekä ehdottavat tai toteuttavat kauppooja automaattisesti. Hinta voi vaihdella puun laadun, sijainnin, hiiliarvon ja toimitusajankohdan mukaan aiempaa tarkemmin. Kehitys voi vähentää puumarkkinoiden viiveitä ja parantaa toimitusvarmuutta, mutta se muuttaa neuvotteluasetelmaa.

ESIMERKKI / TEKÖÄLYPOHJAINEN HINNOITTELU

Vietnamilaisessa tutkimuksessa on kehitetty syväoppimiseen perustuva malli, joka yhdistää aluetalouden datan ja satelliittihavainnot puun hinnan ennustamiseen. Tutkimus osoittaa, että graafineuraaliverkot kykenevät ennustamaan hintavaihteluita merkittävästi perinteisiä tilastollisia malleja tarkemmin. [6]

taloudellinen



Euroopan kuituvarasto

Ilmastomuutos ja sen aiheuttamat metsätuhot Keski-Euroopassa vaikuttavat mantereen kuitutarjontaan. Keski-Euroopan havumetsien, erityisesti kuusikoiden, kärsivät laajat kirjanpainajatuhot ja kuivuus vähentävät alueen pitkän aikavälin puunsaatavuutta. Tämän seurauksena Pohjois-Euroopan boreaaliset metsät muodostuvat strategiseksi kuituvarastoksi, jota pidetään poliittisesti ja ekologisesti vakaana lähteenä koko Euroopan teollisuudelle. Ilmiöön liittyy myös avustettu siirtymä, jossa puulajeja siirretään etelämpää pohjoiseen metsien elinvoiman ja kuidun tuottokyvyn varmistamiseksi tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa.

ESIMERKKI / KESKI-EUROOPAN KIRJANPAINAJATUHOJA

Saksassa ja Tšekissä, kirjanpainajatuhojen aiheuttama mittava pakkohakkuiden aalto on muuttanut alueen metsien rakennetta. Tuhojen seurauksena perinteisten havupuulajien tarjonta on laskemassa, mikä kääntää kuitupuun kysyntää Pohjoismaiden suuntaan. Pohjolan havumetsävyöhykettä pidetään raportoinneissa ”turvasatamana”, jonka vakaampi ilmasto ja vakiintunut metsätalous turvaavat teollisuuden raaka-ainehuollon silloinkin, kun eteläisemmän Euroopan metsät kärsivät kuivuudesta. [7]

— Euroopan metsätuhojen aiheuttamien puumenetysten arvioidaan olevan nykyisellään noin 80 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, ja tuhoutuvan metsäpinta-alan ennakoidaan yli kaksinkertaistuvan vuosisadan loppuun mennessä. [8]

Kokeilulaboratorio



Nykytilasta, jossa metsätalous perustuu havupuuvaltaiseen bulkkituotantoon ja pirstaleiseen omistajuuteen, kohti globaalia kokeilualuetta, jossa Suomi johtaa metsien geneettistä uudistamista ja korkean jalostusasteen hajautettua biotaloutta.

Havupuukadon edetessä Suomeen on ajettu roolia kansainvälisenä kokeilualueena, jossa sovelletaan eriytettyä sääntelyä ja testataan uutta taimigeneetiikkaa, vieraslajeja ja automatisoitua sekametsän hoitoa. Koska tilanne muualla on vielä haastavampi,

Suomi on saavuttanut erityisaseman metsäresilienssin kehittäjänä.

Yhteiskunnallinen hyväksyntä perustuu ajatukseen, että metsä on perintö, luonnonpääomaa ja kansallinen vastuu, jossa aktiivinen metsänhoito vahvistaa luonnon tilaa ja parantaa metsien kestävyyttä muuttuvassa ilmastossa. Matalan jalostusasteen bulkkituotanto ei ole enää sallittua. Metsän omistajuus on keskittynyt suvuille ja säätiöille, jotka toimivat luonnonpääoman pitkäjänteisinä vartijoina. Metsänhoito on tarkkaa "puutarhamaista" ylläpitoa, jossa kevyet robotit ja droonit tekevät täsmätyötä sensoridatan ohjaamana. Keskitetty suurteollisuus on korvautunut hajautetulla järjestelmällä, jossa siirrettävät korkean teknologian jalostusyksiköt prosessoivat arvokkaan raaka-aineen lähellä kasvupaikkaa.

Paikalliset toimijat ja omistajat muodostavat data-osuuskuntia, jotka hallinnoivat metsätietoa ja optimoivat tekoälyn avulla samanaikaisesti puun myyntiä, luontoarvoja ja paikallista kannattavuutta ilman raskaita välikäsiä. Valta ja arvo perustuvat kykyyn uudistaa metsiä hallitusti ja tuottaa äärimmäisen laadukasta, jalostettua biomateriaalia. Arvoverkosto on paikallisesti ankkuroitu mutta globaalisti verkottunut: osaaminen ja teknologia ovat Suomen tärkeimpiä vientituotteita. Työmarkkinat yhdistävät syvän biologisen ymmärryksen, datan hallinnan ja pientuotannon automaation

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Korkean jalostusasteen hajautettu tuotanto nostaa arvonalisää ja vahvistaa innovaatioekosysteemejä.
- Tarkasti hallitusta ensiluokkaisesta metsäbiomassasta tulee raaka-aine, josta asiakkaat ovat valmiita maksamaan merkittävää lisäarvoa.
- Kokeiluihin perustuva sääntely ja tutkimusyhteistyö houkuttelevat kansainvälisiä investointeja.

△ Riskejä ja uhkia

- Vieras- ja uudet puulajit muuntavat alkuperäisen ekosysteemin hallitsemattomasti.
- Pientuotanto ei vastaa kysyntään tai kannattavuuteen.
- Vientitulot putoavat mikäli uudet korkean jalostusasteen innovaatiot eivät skaalaudu.

🕒 Entä jos...

- paikallinen sääntely mahdollistaa parhaan teknologian käytön (esim. geenimuuntelu) luonnon työn tukemiseen?
- paikalliset dataosuuskunnat ovat metsänomistajien uusi neuvotteluvoima?

Kokeilulaboratorio

ympäristöllinen



Ekosysteemien reaaliaikaseuranta

Metsien seuranta siirtyy kohti jatkuvaa ja ennakoivaa tilannekuvaa, jossa ympäristöriskejä ja ekosysteemin muutoksia voidaan havaita varhaisessa vaiheessa. Satelliittiteknologia, droonit ja tekoäly korvaavat perinteiset maastoinventoinnit, tarjoten metsänomistajille ja teollisuudelle jatkuvasti päivittyvän, tarkan tilannekuvan puuvarannoista, terveydestä ja kasvusta. Teknologiat mahdollistavat tuholaiden ja tautien varhaisen tunnistamisen, metsäpaloriskien ennakkoinnin sekä nopean reagoinnin poikkeamiin.

ESIMERKKI / SATELLIITTIPOHJAINEN SEURANTA

Suomalainen yritys CollectiveCrunch tarjoaa satelliitti- ja tekoälypohjaisia metsien analytiikkaratkaisuja, joiden avulla voidaan seurata metsien kasvua, terveydentilaa ja muutoksia ympäristövaikutusten näkökulmasta. Ratkaisuja hyödynnetään muun muassa metsätuhojen varhaisessa tunnistamisessa, ilmatoriskien arvioinnissa sekä hiilensidonnan ja metsien resilienssin seurannassa. [9]

— Globaalin älykkään metsätalouden markkinan (sisältäen mm. kaukokartoituksen, satelliitti- ja droonidatan, IoT-anturit sekä tekoälypohjaiset analyysiohjelmistot) arvioidaan kasvavan noin 6,1 miljardista dollarista (2026) 9,1 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä (CAGR 10,6 %). [10]

ympäristöllinen



Puun geenimuuntelu ja jalostus

Puiden jalostuksessa yhdistetään perinteinen risteytys, DNA-markkereihin perustuva valinta, genomisen ennustaminen ja täsmällinen genomeditointi. Tavoitteena on nopeuttaa erityisesti kuusen, männyn ja koivun sopeutumista lämpenevään ilmastoon, kuivuuteen, tuholaisiin ja uusiin tauteihin sekä muokata kasvua ja puuaineen ominaisuuksia. Menetelmät voivat lyhentää pitkien jalostuskiertojen vaatimaa aikaa ja tuoda käyttöön ominaisuuksia, joita luonnollinen vaihtelu ei tarjoa riittävän nopeasti. Hyödyt näkyvät vasta vuosikymmenten seurannassa, ja kehitystä rajoittavat geenien leviäminen, monimuotoisuuden kaventuminen, sääntely, omistusoikeudet ja hyväksyttävyys. Kriisiytyvä metsien terveystilanne voi kuitenkin muuttaa suhtautumista nopeasti.

ESIMERKKI / METSÄNJALOSTUKSEN SKAALAU

Luonnonvarakeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun teknologiaan perustuva Lauka Biotech kaupallistaa alkiomonistukseen perustuvaa tuotantomenetelmää, jossa tekoälyohjattu robotiikka valitsee ja käsittelee perimältään parhaiden puiden solukko-viljelmistä elinvoimaisimmat alkiot. Menetelmän tavoitteena on tuottaa tasalaatuisia, testattuja ja esimerkiksi ilmastomuutosta paremmin kestäviä metsäpuiden taimia teollisessa mittakaavassa. [11]

ympäristöllinen



Metsän mikrobiomin ohjaus

Maaperän sieni- ja bakteeriyhteisöjä ryhdytään mittaamaan ja muokkaamaan metsän kasvun, ravinteiden käytön ja ilmastokestävyyden vahvistamiseksi. Erityisesti puiden juurten kanssa symbioosissa elävät mykorrhizasienet vaikuttavat ravinteiden saatavuuteen, taimien kasvuun ja metsän hiilivarastoihin. Taimille valitaan kasvupaikkaan sopivia mikrobiyhteisöjä tai siirretään niitä terveistä metsistä taimitarhoihin ja uudistusaloille. Menetelmä vähentää lannoitteiden tarvetta ja parantaa häiriönsietoa, mutta vaikutukset ovat paikka- ja puulaji-kohtaisia. Ekologiset sivuvaikutukset, pysyvyys, mittaminen ja hiilihyötyjen todentaminen vaativat pitkäaikais-ta tutkimusta. [12]

ESIMERKKI / MIKROBIOMIKÄSITTELYT TAIMITARHOISSA

Yhdysvaltalainen Funga on käynnistänyt puuntaimien sienijuurikäsittelyjen pilotteja ja kertoi käsitelleensä vuonna 2025 taimistoja noin 10 000 hehtaarin istutuksia varten. Walesissa kokeiluja on tehty myös sitkankuusella. Tulokset ovat vielä varhaisia, ja riippumattomat asiantuntijat korostavat pitkäaikaisen näytön tarvetta. [13]

— Globaalin mykorrhizamarkkinan (sisältäen puiden ja kasvien juurisymbiooseissa hyödynnettävät sienivalmistet) arvioidaan kasvavan noin 1,29 miljardista dollarista (2025) 2,05 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä (CAGR 9,6 %). [14]

Häiriötila



Nykytilasta, jossa metsätalous on vakaa-
ta ja digitalisaatio etenee, kohti maailmaa,
jossa jatkuvat ekologiset häiriöt, digitaalinen umpikuja ja urbanisoitunut passiivisuus pakottavat reaktiiviseen huoltovarmuuteen keskittyvään kansalliseen ohjaukseen.

Sään ääri-ilmiöt ja tuholaiset heikentävät metsien kuntoa ja teollisuuden raaka-ainevirroissa on katkoja. Samalla digitalisaatio on kohdannut vakavia takaiskuja: toistuvat kyberhyökkäykset, algoritmien ristiriitaiset tulokset ja datan manipulointi ovat romuttaneet toimijoiden välisen luottamuksen.

Julkinen sääntely ei anna enää suuntaa ja EU:n ohjauskeinot ovat epäonnistuneet. Urbanisoitumisen myötä metsänomistuksesta on tullut passiivista perintöä, jolloi kaupunkilaisomistajat seuraavat metsäänsä vain sovellusten kautta ilman tunnesidettä tai kykyä reagoida.

Metsäsektori on järjestäytynyt kansalliseksi strategiseksi klusteriksi, jossa markkinaehtoisuus on korvattu huoltovarmuudella. Metsät, energia ja materiaali-tuotanto nähdään yhtenä turvallisuuskysymyksenä, jota valtio ohjaa turvatakseen kansallisen intressin. Kansainvälinen kauppa on korvautunut kahdenvälisillä resurssisopimuksilla, joissa vakaus ja omavaraisuus ajavat tehokkuuden edelle. Automaatio on jäänyt irralliseksi saarekkeiksi, joissa järjestelmät eivät keskustele keskenään. Arvoverkosto toimii osittain ”sokeana”, päätöksenteko toimijarajapintojen yli on vaikeutunut ja pitkälliset oikeusprosessit algoritmien virheistä halvaannuttavat alan kehitystä.

Metsätalous on muuttunut riskinhallinnaksi, jossa vakuutusmaksut ja toimitusvarmuus ohjaavat toimintaa. Arvo syntyy kyvystä taata resurssien saatavuus poikkeusoloissa. Arvoketjussa pärjäävät ne toimijat, jotka kykenevät nopeaan reagointiin ja autonomiseen operointiin vaikeissa olosuhteissa. Työvoiman rooli on muuttunut vaativaksi asiantuntijatyöksi, jossa hallitaan teknologiaa ja robotiikkaa käsityömaisella tarkkuudella.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Häiriöosaamisesta vientituote: yhdistelmä huipputeknologiaa ja käytännönläheistä ongelmanratkaisua.
- Suomeen suljettu, äärimmäisen turvallinen ja kv-jäteistä riippumaton digitaalinen alusta.
- Resilienssistä uusi kilpailuetu.

△ Riskejä ja uhkia

- Jatkuvassa ”sammutustilassa” pitkän aikavälin innovaatiot ja laadun kehitys pysähtyvät.
- Toimijoiden sulkeutuminen omiin varautumisratkaisuihinsa katkaisee kansainvälisiä arvoketjuja ja yhteistyösuhteita.
- Luottamuksen mureneminen hidastaa tarvittavaa yhteistyötä ja päätöksentekoa.

☪ Entä jos...

- osa metsistä jää hyödyntämättä, koska niiden tilaa ei pystytä enää todentamaan luotettavasti?
- tehokkuuden sijaan tärkein kilpailuetu on huoltovarmuus: rinnakkaiset digitaaliset ja analogiset toimintamallit?

Häiriötila

poliittinen 7



Kemikaalihuoltovarmuus

Geopoliittiset jännitteet, pandemiakokemukset ja riippuvuus globaaleista kemikaali-, lääkeaine- ja ammustarvikeketjuista ovat nostaneet esiin tarpeen vahvistaa kansallista ja alueellista huoltovarmuutta. Metsäteollisuuden sivuvirrat, kuten raakamäntyöljy, ligniinipohjaiset yhdisteet ja muut biopohjaiset kemialliset fraktiot, nähdään yhä useammin strategisina raaka-aineina kriittisten kemikaalien, lääkeaineiden ja rokotetuotannon sekä ammustuotannon turvaamisessa. Kehitys kytkee metsäteollisuuden osaksi puolustusta ja terveyteen liittyvää varautumista, jossa tavoitteena on vähentää riippuvuutta fossiilisista ja geopoliittisesti haavoittuvista tuontiketjuista.

ESIMERKKI / EU KEMIKAALIHUOLTOVARMUUS

Euroopan komission vuonna 2025 julkaisema biotalousstrategia nostaa biopohjaiset kemikaalit, teollisen biotuotannon ja biomassan sivuvirrat keskeisiksi tekijöiksi EU:n strategisen autonomian ja kriisinsietokyvyn vahvistamisessa. Strategiassa korostetaan riippuvuuden vähentämistä tuontiraaka-aineista sekä biopohjaisten ratkaisujen roolia lääketeollisuuden, terveydenhuollon ja kriittisten kemikaalien toimitusvarmuudessa. [15]

— Euroopassa käytettävistä lääkkeiden vaikuttavista aineista (API) ja niiden kemiallisista esiasteista noin 60–80 % tuodaan Euroopan ulkopuolelta, pääosin Kiinasta ja Intiasta. [16]

ympäristöllinen 7



Häiriöohjautuva puuvirta

Myrskyt, kuivuus, metsäpalot ja hyönteistuhot muuttavat puun saatavuutta yhä ennakoimattommaksi. Suuret tuhot tuovat markkinoille lyhyessä ajassa runsaasti vaurioitunutta puuta, joka on korjattava ennen laadun heikkenemistä. Samalla terveiden metsien suunnitelmia hakkuista voidaan siirtää ja puutavaralajien tarjonta muuttuu. Teollisuuden hankinta, varastointi ja tuotanto joutuvat mukautumaan luonnonhäiriöiden sijaintiin ja ajoitukseen aiempaa enemmän. Kehitys voi painaa hintoja paikallisesti, ruuhkauttaa kuljetukset ja lisätä tuonti- tai vientitarvetta. Varautuminen edellyttää joustavia korjuuketjuja, terminaalivarastoja, vaihtoehtoisia raaka-aineseoksia ja nopeaa tilannekuvaa. Pelastuskorjuu voi lisätä luontohaittoja.

ESIMERKKI / ITÄVALLAN TUHOPUUENNÄTYS

Itävallan valtionmetsät (ÖBf) raportoi, että vuosi 2024 oli poikkeuksellinen: myrskyt ja hyönteistuhot aiheuttivat peräti 1,5 miljoonaa kuutiometriä vaurioitunutta puuta. Tämä vastasi noin 75 % koko vuoden korjuumäärästä. Tilanne on pakottanut maan metsäsektorin siirtymään "normaalista" metsänhoidosta jatkuvaan pelastuskorjuuseen. [17]

taloudellinen 7



Vakuutusohjattu metsänhoito

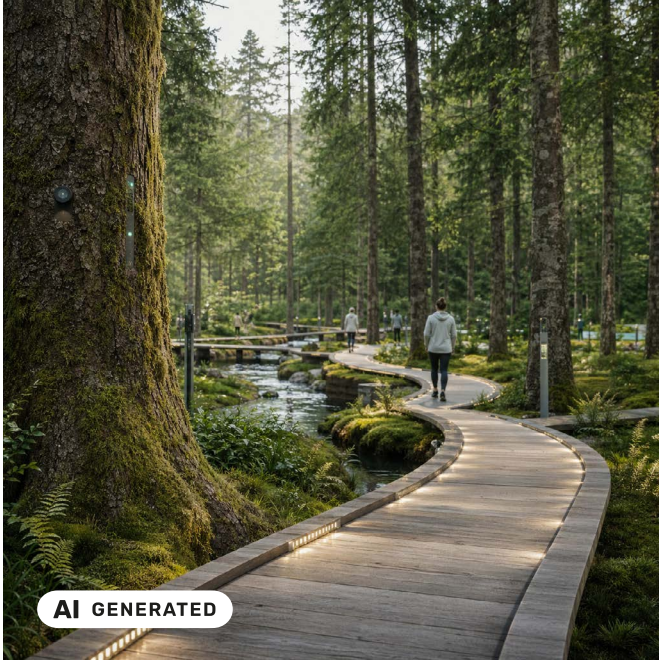
Metsävakuutukset muuttuvat vahinkojen korvaamisesta metsänhoitoa ohjaaviksi palveluiksi. Vakuutusmaksut, omavastuut ja vakuutettavuus voivat riippua puulajijakaumasta, metsän rakenteesta, palokatkoista, tiestöstä, tuhoriskien seurannasta ja siitä, onko omistaja toteuttanut sovitut ennaltaehkäisevät toimet. Satelliittija säädata mahdollistavat riskin arvioinnin metsäkuviotasolla ja nopeuttavat vahinkojen todentamista. Kehitys voi kannustaa ilmastokestävään metsänhoitoon, mutta myös siirtää päätösvaltaa vakuutusyhtiöille ja sulkea korkean riskin alueita vakuutusturvan ulkopuolelle.

ESIMERKKI / OPAS BIODIVERSITEETTIRISKEISTÄ

Euroopan vakuutusvalvontaviranomainen (EIOPA) on julkaissut raportin, jossa kartoitetaan vakuutusalan biodiversiteettiriskejä, korostaen tarvetta ymmärtää ja hallita näitä riskejä osana ilmastoon ja luontoon liittyviä riskejä. [18]

— Globaalin metsävakuutusmarkkinan arvioidaan kasvavan 5,07 miljardista dollarista (2025) 8,76 miljardiin dollariin vuoteen 2034 mennessä (CAGR 6,2 %). Kiihtyvät metsäpalot ja sään ääri-ilmiöt, joiden aiheuttamat omaisuusvahingot ylittivät 25 miljardia dollaria vuonna 2024, ajavat vakuutusyhtiöitä siirtymään dynaamiseen, satelliittidataan ja metsäkuviokohtaisiin riskeihin perustuvaan hinnoitteluun. [19]

Säännelty luontoinfra



Nykytilasta, jossa metsäelinkeino nojaa laajamittaiseen puuraaka-aineen tuotantoon, kohti tulevaisuutta, jossa läpinäkyvyys rajaa puun käyttöä ja siirtää arvon palveluihin.

Metsien rooli on muuttunut ensisijaisesti hiilen sidontaan, luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen ja vesitalouden hallintaan. Näitä tavoitteita ohjataan tiukasti lainsäädännöllä ja julkisella ohjauksella, jolloin metsä on osa kansallista turvallisuutta ja identiteettiä. Hakkuut ovat mahdollisia, mutta ne tulee perustella tarkasti, sillä puun käyttö on rajattu kriittisiin käyttökohteisiin.

Koska puuta ei enää hyödynnetä isossa mittakavassa materiaalina, metsäelinkeinoon taloudellinen painopiste on siirtynyt palveluihin, erityisesti luonto-arvopalveluihin, joissa arvo syntyy ennaltaehkäisevässä terveydenhuollossa, virkistyskäytössä ja matkailussa sekä todentamiseen perustuvissa hiili- ja luontohyvytyksissä. Metsää hoidetaan ensisijaisesti paikallisen elinvoiman ja terveyden näkökulmasta ja metsän omistajuus on keskittynyt yhteisöille, säätiöille ja valtiolle, joita kannustetaan luontoarvoja tukevaan metsänhoitoon tukien ja verotuksen kautta.

Maailmankauppa perustuu sekin arvopohjaisiin liittoumiin, joissa yhteiset ympäristö- ja eettiset kriteerit ohjaavat materiaalivirtoja ja tuotannon läpinäkyvyys määrittää pääsyn markkinoille: Forest Data Commons -järjestelmä varmistaa jokaisen erän hiili- ja luontovaikutukset. Suomi toimii osana eurooppalaista blokkia ja markkinaa, jossa vaatimustaso on korkea ja hinta on toissijainen tekijä. Blokin ulkopuoliset tuotteet kohtaavat korkeat hiilitullit ja tiukat auditointivaatimukset.

Arvoketjussa korostuvat toimijat, jotka osaavat yhdistää metsän, hyvinvoinnin ja palveluliiketoiminnan sekä toimia liittouman sääntöjen mukaisesti: omistajan rooli on muuttunut palveluiden mahdollistajaksi, ja kunnat, yhteisöt ja pienet yritykset ovat keskeisiä toimijoita metsien harkitussa käytössä ja kehittämisessä.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Metsänomistajalle tulovirtaa hiilivaraston ja vesitalouden ylläpidosta.
- Mahdollistaa monipuolisen elinkeinorakenteen myös haja-asutusalueilla.
- Laajentaa perinteisten metsätoimijoiden joukkoa esimerkiksi terveys- ja matkailutoimijoilla.

△ Riskejä ja uhkia

- Sääntelyn, lupaprosessien ja valvonnan kasvu johtaa sääntelyähkyn ja hitauteen.
- Metsien käytön sääntely, suojelutavoitteet ja palveluliiketoiminta lisäävät käyttörajoituksia kaventaen jokaisenoikeuksia.
- Uudet luonto- ja hyvinvointipalvelut eivät korvaa riittävän nopeasti perinteisen massateollisuuden tulovirtoja.

☉ Entä jos...

- muut maat maksavat palveluista ja kompensatiota Suomelle hiilipäästöistään?
- yhdelle lääkinnälliselle metsähehtaarille tai puhtaalle pohjavedelle laskettaisiin markkinahinta?

Säännelty luontoinfra

poliittinen



Vihreä protektionismi

Kansainvälinen kauppapolitiikka siirtyy vapaakaupan painottamisesta arvopohjaiseen sääntelyyn, jossa ympäristö- ja ilmastostandardit toimivat ehtoina markkinoille pääsulle. Euroopan unionin käyttöön ottamat mekanismit, kuten hiilirajamekanismi (CBAM) ja metsäkatoasetus (EUDR), asettavat tuontituotteille samat kestävyysvaatimukset kuin eurooppalaiselle tuotannolle. Tämä kehitys suojaa korkean sääntelyn piirissä olevaa eurooppalaista teollisuutta halvemmalta, mutta ympäristön kannalta kestävämmältä tuonnilta. Vaikka toimet tähtäävät globaalien päästöjen vähentämiseen, ne toimivat käytännössä teknisinä kaupan esteinä, jotka kiristävät kauppapolitiittisia suhteita erityisesti kehittyvien talouksien kanssa ja pakottavat globaalit toimitusketjut uudelleenlaiseen läpinäkyvyyteen. [20]

ESIMERKKI / CBAM JA EUDR KAUPPOLITIIKASSA

EU ja Intia kävivät loppuvuonna 2025 neuvotteluja vapaakauppasopimuksesta, mutta EU ei myöntänyt Intialle poikkeuksia hiilirajamekanismiin, jota Intia on pitänyt syrjivänä kaupan esteenä. Samaan aikaan Indonesia ja Malesia ovat kyseenalaistaneet EU:n metsäkatoasetuksen vaikutuksia palmuöljyn kauppaan. Ilmasto- ja luontopolitiikka kytkeytyvät yhä tiiviimmin kansainvälisen kaupan ehtoihin. [21]

taloudellinen



Biodiversiteettikrediitti

Metsän taloudellinen arvo laajenee puuraaka-aineen määrästä luonnon monimuotoisuuteen, josta tulee kaupattava hyödyke hiilikrediittien rinnalle. Biodiversiteettikrediitit tarjoavat metsänomistajille uuden tulonlähteen palkitsemalla ekosysteemien suojelusta sekä ennallistamisesta. Krediittejä voidaan myydä kansainvälisillä markkinoilla yrityksille, jotka pyrkivät täyttämään vastuullisuustavoitteensa tai lakisääteiset velvoitteensa. Kehityksen taustalla vaikuttavat kansainväliset COP15-sopimukset, yritysten kasvava paine luontokaupan torjuntaan sekä tarve luoda mitattavia standardeja luonnonarvojen hinnoittelulle.

ESIMERKKI / KREDIITTIMALLI KOLUMBIASSA

Kolumbiassa yritykset ClimateTrade ja Terrasos käynnistivät hankkeen biodiversiteettikrediittien myymiseksi Bosque de Niebla -metsän alueelta. Hankkeessa yksi krediitti vastaa kymmenen neliömetrin kokoista maa-aluetta, jonka suojelu ja ennallistaminen on taattu 30 vuodeksi. Malli yhdistää suojelutoimet suoraan mitattavaan pinta-alan ja pitkäaikaiseen sitoutumiseen, mikä lisää sijoittajien luottamusta luonnonarvojen pysyvyyteen. [22]

— Globaalin biodiversiteettikrediittimarkkinan arvioidaan olevan noin 4,9 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 21,9 miljardiin dollariin vuoteen 2036 mennessä (CAGR 16,2 %). [23]

poliittinen



Luonto oikeushenkilönä

Luonto oikeushenkilönä -ajattelu pyrkii tunnustamaan luonnon kokonaisuuksille, kuten metsille, joille ja ekosysteemeille, itsenäisen oikeudellisen aseman riippumatta niiden taloudellisesta hyödyistä ihmisille. Luonto nähdään oikeushenkilönä, jolla on oikeus säilyä, kukoistaa ja uusiutua riippumatta sen taloudellisesta hyötyarvosta. Tämä lähestymistapa merkitsee siirtymää ihmiskeskeisestä oikeusjärjestelmästä kohti hallintamalleja, joissa ekologiset arvot ja luonnon uusiutumiskyky sisällytetään suoraan lainsäädäntöön ja päätöksentekoon.

ESIMERKKI / METSÄ OIKEUSHENKILÖNÄ

Ecuadorin perustuslakituomioistuin tunnusti vuonna 2021 Los Cedros -metsän oikeushenkilöksi, jolla on oikeus olemassaoloon, uusiutumiseen ja suojeluun. Päätös mahdollisti kaivoshankkeiden pysäyttämisen alueella ja loi ennakkotapauksen, jossa ekosysteemiä edustettiin oikeudessa itsenäisenä oikeussubjektina. [24]

Suomeen perustettiin vuonna 2024 lakitoimisto ajamaan oikeudessa luonnon ja ilmaston etua. Alkuun Koneen säätiön rahoittama toimisto tarjoaa maksutonta apua ympäristön puolustajille ja keskittyy ennakkotapauksiin, jotka voivat muuttaa ympäristölainsäädännön tulkintoja. [25]

Resurssiviisas materiaalikierto



Nykytilasta, jossa metsäelinkeino perustuu ensisijaisesti neitseelliseen raaka-aineeseen, kohti tulevaisuutta, jossa nollahukkaan nojaava kierto ohjaa tuotantoa, työelämää ja paikallisen ympäristön uudistumista.

Suomalainen metsäelinkeino on asemoitunut osaksi materiaalitaloutta, joka perustuu pitkälle kehittyneeseen kiertoon, jossa samaa materiaalia käytetään uudelleen eri käyttökohteissa ja raaka-aine käytetään tehokkaasti, jolloin hukkaa ei synny. Mekaaniset jakeet jalostetaan rakenteiksi ja komponenteiksi, kuitu- ja molekyyli-tason jakeet päätyvät kemian-

teollisuuden raaka-aineiksi, ja sivuvirrat käsitellään kiinteänä osana jalostusketjuja, eikä niitä käytetä energiantuotantoon. Teollinen tuotanto on sähköistynyt laajasti, ja prosessit ovat joustavia ja mukautuvat saatavilla olevaan materiaalivirtaan.

Suomen kilpailuetu nojaa pohjoisen puun ominaisuuksien tarkkaan hyödyntämiseen siellä, missä biomateriaalin erityispiirteet tuottavat eniten arvoa, mutta puu on yksi syöte muiden joukossa kiertävässä materiaali-järjestelmässä. Korkean jalostusasteen tuotteissa hyödynnetään biomateriaaleja, kun taas monomateriaaliset ja kierrätettävät ratkaisut mahdollistavat ”riittävän hyvät” tuotteet laajoihin käyttötarpeisiin. Fossiilisia raaka-aineita käytetään edelleen erityisesti kierrätettyinä.

Materiaali- ja kiertotalousosaaminen sekä nollahukkamallit toimivat ponnahduslautana vahvistaa ja uudistaa laajemmin alueellista elinvoimaa, työelämän kestävyttä ja ympäristön tilaa. Arvo syntyy kyvystä hallita materiaali- ja energiavirtoja samanaikaisesti tarkan jäljitettävyyden ja raaka-ainetiedon avulla. Menestyvät toimijat ovat niitä, jotka hallitsevat materiaalien kierron, järjestelmätason optimoinnin ja regeneratiiviset toimintamallit.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Suomi puun jalostajasta globaaliksi materiaalivirtojen operaattoriksi.
- Sivuvirroista, kierrätyskuiduista ja monomateriaaliratkaisuista uusia korkean arvon liiketoimintoja ilman raaka-ainevolyymien kasvattamista.
- Kilpailu perustuu siihen, kuka pystyy pitämään materiaalit kierrossa pisimpään ja korkeimmasa arvossa.

△ Riskejä ja uhkia

- Suuret toimijat eivät investoi riittävästi materiaalikierrojen edellyttämiin järjestelmiin.
- Neitseellisen kuidun tarve vähenee ja Suomi jää marginaalituotantoalueeksi.
- Kierron optimointi keskittyy metsäalan sijaan toimijoille, jotka hallitsevat dataa ja logistiikkaa.

🕒 Entä jos...

- tuotteet eivät koskaan poistu valmistajan vastuulta?
- kierrätetyt fossiiliset materiaalit hyväksytään markkinoilla yhtä vastuullisiksi vaihtoehdoiksi kuin biomateriaalit?

Resurssiviisas materiaalikierto

poliittinen



Monomateriaalivaatimus

Kirstyvä pakkaussääntely ja kiertotaloustavoitteet ohjaavat markkinoita kohti monomateriaaliratkaisuja, joissa pakkaukset kierrätetään yhtenä materiaalivirtana ilman monikerroslaminaatteja. EU:n pakkaus- ja pakkausjäteasetus (PPWR) sekä brändien kestävyysitoumukset lisäävät painetta luopua vaikeasti kierrätettävistä kuitumuovi- tai kuitu-alumiini -yhdistelmistä. Ratkaisuna kehittyvät painettavat ja pinnoitettavat barrier-ratkaisut, jotka tarjoavat tarvittavan happi-, rasva- ja kosteussuojan. Kehitys muuttaa pakkaussuunnittelun lähtökohtia siirtämällä suojaominaisuudet suoraan materiaalin pintaan tai rakenteeseen erillisten laminaattikerrosten sijaan. [26]

ESIMERKKI / KUITUPOHJAINEN MONOMATERIAALIRATKAISU

UPM Specialty Papers ja Royal Vaassen ovat kehittäneet Barryrwrap-paperiratkaisun, joka korvaa elintarvikepakkauksen muovi- ja alumiinilaminaatit. Tiheään kuiturakenteeseen perustuva monomateriaali suojaa tuotetta hapelta, kosteudelta ja valolta ilman erillisiä metallikerroksia. Tuotetta on testattu erityisesti vaativissa sovelluksissa, kuten kahvin ja makeisten pakkaamisessa, joissa vaaditaan pitkää säilyvyysaikaa ja aromien suojaamista. [27]

taloudellinen



Tehtaat vetyhubeina

Sellutehtaat integroituvat osaksi kansallista ja kansainvälistä vetytaloutta toimimalla alueellisina vedyn tuotanto- ja jakelukeskuksina. Tehtaat hyödyntävät olemassa olevaa infrastruktuuriaan, kuten uusiutuvaa sähköntuotantoa, vesivaroja sekä biogeenistä hiilidioksidia (CO₂), vihreän vedyn ja sen jatkojalosteiden tuotantoon. Tuotettua vihreää vetyä ja siitä jalostettuja sähköpolttoaineita, kuten e-metanolia ja e-metaania, hyödynnetään erityisesti raskaan liikenteen ja merenkulun energiaratkaisuissa. Kehitys laajentaa sellutehtaiden toimintaa perinteisen puunjalostuksen ulkopuolelle osaksi energia- ja polttoainejärjestelmiä.

ESIMERKKI / TEOLLISEN MITTAKAAVAN VEDYN TUOTANTO

Kanadalainen sellunvalmistaja Paper Excellence Group on ilmoittanut suunnitelmista rakentaa noin 10 megawatin (MW) vihreän vedyn tuotantolaitos Brittiläisessä Kolumbiassa sijaitsevan sellutehtaansa yhteyteen. Hankkeessa elektrolyysiprosessi perustuu tehtaan käytettävissä olevaan uusiutuvaan sähköön, kuten vesivoimaan. Tuotettua vetyä on tarkoitus hyödyntää osana tehtaan omia energiankäyttöratkaisuja sekä mahdollisesti alueellisissa liikenne- ja teollisuussovelluksissa. [28]

— Globaalin vihreän vedyn markkinan arvioidaan kasvavan noin 11,9 miljardista dollarista (2025) 115,4 miljardiin dollariin vuoteen 2033 mennessä (CAGR 30,2 %). [29]

teknologinen



Kierrätettävät komposiitit

Komposiittimateriaalien kehityksessä painopiste siirtyy rakenteisiin, joissa puukuidut ja uusiutuvat sidosaaineet muodostavat täysin kierrätettäviä kokonaisuuksia. Kehityksen keskiössä on biopohjaisten hartsien ja puun omien polymeerien, erityisesti ligniinin, hyödyntäminen sidosaaineina, mikä vähentää fossiilisten raaka-aineiden tarvetta. Tavoitteena on mahdollistaa komposiittikomponenttien hallittu purkaminen ja uudelleenkäsittely elinkaaren lopussa siten, että puukuidut voidaan palauttaa kuitukiertoon tai uusiin komposiitteihin ilman merkittävää laadun heikkenemistä.

ESIMERKKI / KOHTI TEOLLISTA SKAALAUSTA

VTT:n koordinoima CompoREC-projekti kehittää kemiallisia kierrätysmenetelmiä komposiittien elinkaaren lopun käsittelyyn siten, että kuiturakenteet ja täyteaineet voidaan erottaa ja käyttää uudelleen toisen sukupolven komposiiteissa. CompoREC yhdistää pyrolyysi- ja solvolyyseitekniikoita, joiden avulla voidaan säästää arvokkaita kuituja ja tuottaa uusia hartseja tai materiaaleja kiertotalouden arvoverkkoon. Kehitettävä menetelmä mahdollistaa kuitujen erottamisen sidosaaineista ilman mekaanista vauriota. [30]

— Globaalin biokomposiittimarkkinan (sisältäen puu- ja luonnonkuitukomposiitit sekä biopohjaiset sidosaaineet) arvioidaan kasvavan noin 32,5 miljardista dollarista (2025) 68,4 miljardiin dollariin vuoteen 2033 mennessä (CAGR 9,7 %). [31]

Patenttitehdas



Nykytilasta, jossa biomassaan perustuva tuotanto on metsäelinkeinon perusta, kohti tulevaisuutta, jossa materiaalit tuotanto nojaa TKI-vetoiseen bioteknologiaan, synteettisiin, tekniisiin ja muokattuihin kuituihin.

Metsäelinkeinon rooli on muuttunut osaksi laajempaa materiaalitaloutta, jossa synteettiset materiaalit ovat vahvistaneet asemaansa ja teollisuuden painopiste on siirtynyt bioteknologiaa ja materiaalitiedettä hyödyntäviin ratkaisuihin. Puun kaltaisia ominaisuuksia ja kuituja tuotetaan soluviljelyn ja geneettisen muokkauksen sekä ohjelmoinnin avulla,

mikä mahdollistaa materiaalien ominaisuuksien tarkan hallinnan erityisesti vaativissa erikoissovelluksissa sekä pienimuotoisessa ja korkean jalostuksen tuotannossa.

Globaali materiaalitalous perustuu silti edelleen fossiiliseen hiileen, sillä biotalous ei ole pärjännyt kamppailussa vakiintuneelle infrastruktuurille. Energiainfrastruktuuri on puolestaan pirstaloitunut alueelliseksi saarekkeiksi, joissa energian hinta ja saatavuus vaihtelevat ja ohjaavat tuotantoyksiköiden sijoittumista. Teollinen jalostus ja energia-intensiivinen bulkkituotanto ovatkin siirtyneet maihin ja alueille, joissa energia- ja sääntely-ympäristö on suotuisampi.

Suomessa metsäbiomassan teollinen käyttö on supistunut merkittävästi: tiukka sääntely, rajoitetut hakkuumäärät ja heikko sosiaalinen toimilupa tekevät laajamittaisesta metsätaloudesta vaikeaa, eikä uusia investointeja synny. Suomalainen korkeantasoinen osaaminen perustuukin bioteknologiaan ja materiaalien suunnitteluun, tutkimukseen, pilotointiin ja teknologian kehittämiseen: Suomi toimii kansainvälisenä kokeiluympäristönä ja osaamisen tuottajana.

Arvoketjussa menestyvät ovat niitä, jotka pystyvät yhdistämään osaamisen, synteettiset materiaalit ja energiankäyttöä ohjaavat reunaehdot sekä kaupallistamaan teknologiaa ja toimimaan osana kansainvälisiä huipposaaajaverkostoja.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Suomi rakentaa korkean katteen lisenssi-, patentti- ja teknologia liiketoimintaa.
- Metsäosaaminen kytkeytyy uusiin asiakastomoihin: lääketeollisuuteen, puolustukseen, elektroniikkaan, avaruus-teknologiaan ja erikoismateriaaleihin.
- Digitaalinen materiaalikehitys ja bioteknologia luovat uudenlaisia tuotteita ilman laajamittaista biomassan käyttöä.

△ Riskejä ja uhkia

- Tutkimus ja patentit syntyvät Suomessa, mutta tuotanto ja suurin taloudellinen hyöty realisoituvat muualla.
- Hidas osaamissiirtymä bioteknologiaan ja materiaalitieteeseen.
- Suomi jää pilotoinnin alustaksi kun kaupallistamisen, asiakasymmärryksen sekä teollisen mittakaavan kyvykkyydet eivät vahvistu.

🕒 Entä jos...

- koetehtaat kiinnittyvät isojen tehtaiden kylkeen muualle kuin Suomeen?
- tuotteet syntyvät fyysisten laboratorioiden sijaan täysin digitaalisesti verkossa?

Patenttitehdas

sosiaalinen



Puu ruokana

Sellutehtaasta kehittyä uudenlainen bioteollinen alusta, jossa puun hemiselluloosasta vapautetut sokerit muutetaan esimerkiksi proteiineiksi, prebiooteiksi ja muiksi ravintoaineiksi. Yhdistettynä metsäteollisuuden prosesseihin, sellutehdas voi toimia valtavana bioreaktorina, joka tuottaa ruokaa ja ravinteita teollisessa mittakaavassa ilman peltoalaa, tai eläintuotannon ympäristövaikutuksia. Lisäksi esimerkiksi tekoälyavusteinen tarkkuusfermentointi voi mahdollistaa täysin uudenlaisten ja räätälöityjen ainesosien kehittämisen, mikä kiihdyttää metsäperäisen biotalouden laajentumista ruokasektorille. [32]

ESIMERKKI / SIVUVIRRAT PROTEIINIEN

Yhdysvaltalainen Arbiom muuntaa fermentoinnin avulla maatalouden sekä metsäteollisuuden sivuvirtoja proteiinilähteiksi. Proteiineja hyödynnetään erilaisissa niin eläinrehuna kuin elintarvikkeissa, aina kastikkeista lihankorvikkeisiin. [33]

— Globaalin uuden sukupolven proteiinien markkinan (sisältäen fermentoinnin ja teollisten sivuvirtojen, kuten puusokerien, avulla valmistetut proteiinit) arvioidaan olevan noin 15,2 miljardia dollaria vuonna 2026. [34]

teknologinen



Labrakasvatettu puu

Kasvisoluja kasvatetaan bioreaktoreissa ja ohjataan muodostamaan lignoselluloosaa, ligniiniä ja puumaisia rakenteita ilman kokonaisen puun kasvattamista. Solujen ravinteita, hormoneja ja kasvualustaa säätämällä materiaalin tiheyttä, jäykkyyttä ja muotoa voidaan muokata jo tuotantovaiheessa. Pieniä puumaisia osia ja tarkasti rajattuja erikoismateriaaleja voidaan kasvattaa lähelle lopullista muotoaan kosmetiikan, lääkkeiden, elektroniikan tai muotolutuotteiden tarpeisiin. Menetelmä vähentää hukkaa ja siirtää osan puumateriaalien tuotannosta bioreaktoripohjaiseksi.

ESIMERKKI / KASVIMATERIAALIA LABORATORIOSTA

MIT:n tutkijaryhmä on kehittänyt tekniikkaa, jolla voidaan tuottaa puumaista kasvimateriaalia laboratoriossa. Tekniikka voisi mahdollistaa puisen tuotteen, kuten pöydän, "kasvattamisen" ilman, että tarvitsee kaataa puita tai jalostaa puutavaraa. Säätämällä tiettyjä kasvuprosesseissa käytettyjä kemikaaleja, tutkijat pystyvät tarkasti hallitsemaan syntyneen kasvimateriaalin fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä ja tiheyttä ja mahdollistamaan esimerkiksi ligniinin muodostumista. Tutkimus osoittaa, että laboratoriossa kasvatetuille kasvimateriaaleille erityisiä ominaisuuksia voidaan säätää siten, että tulevaisuudessa voidaan kasvattaa puutuotteita tietyn käyttötarkoituksen ominaisuuksilla. [35]

teknologinen



Fotoninen puu

Puun nanorakennetta muokkaamalla voidaan tuottaa materiaaleja, jotka läpäisevät, heijastavat tai sitovat valoa hallitusti. Ligniiniä poistamalla ja huokoset täyttämällä syntyy läpinäkyviä puukomposiitteja älyikkunoihin, valaisimiin ja optisiin rakenteisiin. Puun solurakenteeseen voidaan myös rakentaa fysikaalisesti syntyviä värjä ilman tavanomaisia pigmenttejä tai valmistaa erittäin tummaa materiaalia, joka absorboi lähes kaiken valon. Kehitys yhdistää puun keveyden ja lujuuden optisiin ominaisuuksiin ja avaa korkean jalostusarvon käyttökohteita rakentamisessa, elektroniikassa ja anturitekniikassa. Haasteita ovat kosteudenkesto, käytettyjen täyteainesten kierrätettävyys, suurten pintojen tasalaatuisuus ja valmistuksen skaalaaminen. [36]

ESIMERKKI / LASIA MUISTUTTAVAA PUUTA

KTH:n tutkimusryhmä on kehittänyt läpinäkyvää puumateriaalia, jossa puu delignifioidaan ja sen huokosrakennetta täytetään läpinäkyvällä polymeerillä. Tuloksena syntyy optisesti läpinäkyvä ja mekaanisesti vahva puupohjainen komposiitti, jota tutkitaan esimerkiksi rakenteellisissa ja optisissa sovelluksissa. [37]

Brändien metsät



Nykytilasta, jossa metsäyhtiöt hallitsevat tuotantoa, kohti tulevaisuutta, jossa brändit hallitsevat raaka-ainetta, dataa, asiakassuh- teita ja arvon syntyä.

Globaalit loppukäyttäjät, erityisesti rakennus- ja kuluttajabrändit, määrittävät metsäteollisuuden arvoketjut kokonaisvaltaisesti. Kysynnän ohjaamisen lisäksi ne hakevat pysyvää hallintaa raaka-ainee- seen, tuotantoon ja vastuullisuuden todentamiseen varmistaakseen asiakassuhteet, markkina-aseman ja pitkän aikavälin katteet.

Perinteiset metsäyhtiöt, sahat ja sellutehtaat ovat rakenteellisesti sulautuneet osaksi brändien hallitse- mia ekosysteemejä. Suomalaiset toimijat toimivat pääosin alihankkijoina. Niiden rooli on toimittaa globaaleille brändeille tarkasti määritelty raaka-aine ja siihen kytkeytyvä standardoitu data.

Kuluttajien vaatimus läpinäkyvyydestä ja vaikutus- mahdollisuuksista ohjaa koko ketjua institutionaali- sella tasolla. Jokainen tuote on kiinteä osa brändin vastuullisuus- ja vaikutusnarratiivia, ja metsän käyttö arvioidaan ensisijaisesti tämän kehyksen kautta. Il- man yhteensopivaa, jatkuvasti todennettavaa dataa pääsy keskeisille markkinoille ei ole mahdollista.

Arvo syntyy asiakasrajapinnassa ja brändin kyvyssä hallita kokonaisuutta yli toimialarajojen. Metsäelin- keino toimii osana kuluttaja- ja rakennusmarkkinaa, jossa valta, arvonluonti ja marginaalit keskittyvät niille, jotka omistavat asiakassuhteen, tulkintamallit ja datan – ei niille, jotka operoivat metsää.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Vahva vastuullisuus ja jäljitettävyyys nostavat pitkälle jalostettujen tuotteiden ja brändien arvoa.
- Suomalaiset metsäyhtiöt globaaleiksi brändien, asiakasymmärryksen ja vastuullisuuspalvelujen haltijoiksi.
- Eettisesti, läpinäkyvästi ja todennettavasti toimiville metsänomistajille ja yrityksille uusia premium-markkinoita.

△ Riskejä ja uhkia

- Toimiminen alihankkijana tiukassa ohjauksessa.
- Asiakasymmärrys ja suurin kate brändeille, jotka hallitsevat loppukäyttäjäsuhdetta.
- Metsäalan toimijat kilpailevat pelkästään kustannuksilla ja toimitusvarmuudella.

🌀 Entä jos...

- metsänomistajat saisivat osuuden brändituot- teiden myynnistä vastuullisuussuoritteidensa perusteella?
- metsäalueet brändättäisiin kuten viinialueet, ja alkuperä loisi tuotteille merkittävää lisäarvoa?

Brändien metsät

taloudellinen



Brändien metsät

Globaalit kuluttaja-, design- ja rakennusbrändit alkavat hankkia, suojella tai hallita metsiä osana raaka-aineen, biodiversiteetin ja vastuullisuuden varmistamista. Metsä on osa brändin arvolupausta: tuotteen alkuperä, luonnonhoito, hiilivarasto ja pitkäjänteinen materiaalisääntö voidaan kytkeä suoraan yrityksen identiteettiin. Kehitys siirtää valtaa lähemmäs loppukäyttäjiä ja brändejä, jotka määrittävät, millaista puuta käytetään, miten metsää hoidetaan ja miten vaikutukset todennetaan.

ESIMERKKI / ARTEK OSTI METSÄÄ

Artek osti Itä-Suomesta metsäalueen, jota se aikoo hoitaa jatkuvan kasvatuksen menetelmällä biodiversiteetin vahvistamiseksi ja korkealaatuisen suomalaisen koivun saatavuuden turvaamiseksi. Yritys kytkee raaka-aineen alkuperän, metsänhoidon ja tuotteiden pitkän elinkaaren osaksi brändinsä vastuullisuutta. Artek tavoittelee sitä, että osa sen tulevasta koivun tarpeesta katetaan omaa metsästä alkaen noin 2055. [38]

— IKEA:n emoyhtiö Ingka Group omistaa jo lähes 500 000 hehtaaria sertifioitua metsää Romaniassa, Baltian maissa ja Yhdysvalloissa. [39]

poliittinen



Kaupan läpinäkyvyysvaatimus

Digitaalinen materiaalipassi kokoaa tuotteen tiedot alkuperästä, raaka-aineista ja kierrätettävyydestä sähköiseen muotoon. Tieto siirtyy arvoketjussa tuotteen mukana. Järjestelmä mahdollistaa kaupankäynnin automatisoinnin älykkäiden sopimusten avulla. Materiaalipassi varmistaa, että tuote täyttää säädetyt kestävyyskriteerit ennen kauppatapahtuman toteutumista.

Euroopan unionin kestävien tuotteiden ekosunnitteluasetus (ESPR) asettaa raamit tuotetiedon digitaaliselle saatavuudelle. Sääntely laajenee koskemaan useita metsäteollisuuden tuoteryhmiä, jolloin yksityiskohtainen tieto materiaalien kiertokulusta on edellytys markkinoille pääsylle. [40]

ESIMERKKI / TUOTEKOHTAINEN JALANJÄLKITIEDO

UPM Raflatrac on ottanut käyttöön palvelun, jossa tarra- materiaalien tuotekohtainen ympäristöjalanjälki liitetään suoraan asiakastarjouksiin. Product Passport Prototype -tiedot perustuvat yhtiön Label Life -elinkaariarviointipalveluun ja kattavat yli 90 prosenttia UPM Raflatacin tarratuotteista myyntivolyymin perusteella. Vastuullisuusdata tulee osaksi materiaalivalintaa jo hankinnan alkuvaiheessa. [41]

— Globaalin digitaalisten tuotepassien markkinan arvioidaan kasvavan noin 357 miljoonasta dollarista (2026) lähes 3,0 miljardiin dollariin vuoteen 2033 mennessä (CAGR 35,5 %). [42]

sosiaalinen



Näkymätön tehdas

Sellu- ja biotuotetehtaiden ympäristökuormitus muuttuu yhä vaikeammin havaittavaksi, kun hajukaasut kerätään, melu vaimennetaan, vesikierrot suljetaan ja päästöt sekä materiaalihäviöt pienenevät. Fossiilittomat energiaratkaisut, biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja tarkempi prosessinohjaus voivat tehdä tehtaasta lähes hajutoman ja vähentää sen ilmasto- ja vesistövaikutuksia. Tällainen tehdas voidaan sovittaa aiempaa lähemmäs muuta teollisuutta ja kaupunkirakennetta, mikä helpottaa hukkalämmön, sivuvirtojen ja palvelujen yhteiskäyttöä.

ESIMERKKI / BIOTUOTETEHTAAN VESI- JA ENERGIARATKAISUT

Metsä Groupin Kemin biotuotetehdas toimii ilman fossiilisia polttoaineita ja hyödyntää prosessi- ja kiertovesiä suljetun kierron periaatteella. Vesi ja prosessikemikaalit palautetaan tuotantoon, mikä vähentää makean veden tarvetta ja jätevesipäästöjä. Tuotannon vaikutuksia hallitaan aiempaa tarkemmin tehtaan sisäisissä kierroissa. [43]

— Eurooppalaisessa sellu- ja paperiteollisuudessa 92–94 % tehtaiden ottamasta raakavedestä palautetaan puhdistettuna takaisin vesistöön. [44]

Idän ehdot



Nykytilasta, jossa perinteiset metsämaat kilpailevat raaka-aineella ja kuitulaaduilla, kohti tulevaisuutta, jossa Kiina hallitsee tuotannon mittakaavaa, teknologioita ja kapasiteettia ja määrittää, kuka pääsee osaksi arvoketjua ja millä ehdoilla.

Globaaleja markkinoita hallitsee Kiina, joka on rakentanut määräävän aseman sekä biomassapohjaisessa tuotannossa että korkean jalostusasteen biotuotteissa. Maa on kehittänyt uuden mittaluokan tuotantomallin, jossa suuret, integroidut sellu- ja biotuotantolaitokset hyödyntävät edullista plantaasi-

pohjaista raaka-ainetta ja korvaavat aiempia kuitu-yhdistelmiä synteettisillä ja hybridiratkaisuilla. Tämä muuttaa globaalin tuotantokapasiteetin rakennetta ja vähentää perinteisen pitkäkuidun strategista merkitystä.

Kiina toimii keskeisenä viejänä ja tuotannon ehdoista määrittävänä toimijana, asettaen teknologiat, standardit ja laatuksiteerit suoraan markkinoille pääsyn perusteiksi. TKI toiminnan ja innovaatioiden kärki on siirtynyt itään: innovaatiot, prosessimallit ja patentit virtaavat systemaattisesti idästä länteen, ja tuotannon kehitys tapahtuu Kiinan teollisen ekosysteemin ehdoilla.

Suomi ja muut perinteiset metsämaat kilpailevat roolistaan Aasian ohjaamissa arvoketjuissa, joissa keskeistä ei ole raaka-aineen laatu vaan yhteensopivuus tuotantojärjestelmiin. Markkinoille pääsy edellyttää sopeutumista Kiinan määrittelemiін tuotantostandardeihin, mittakaavaan ja toimituslogiikkaan.

Arvo syntyy yhä useammin tuotannon jälkipään integraatiossa ja järjestelmäosaamisessa. Suomalaiset toimijat osallistuvat ketjuun raaka-aineen, komponenttien tai erikoistuneen prosessiosaamisen kautta, mutta tuotannon ydin ja kapasiteetti sijaitsevat Aasiassa. Suomelle kehitys tarkoittaa merkittävimmän kasvumarkkinan menetystä: Kiina on muuttunut suuresta asiakkaasta dominoivaksi kilpailijaksi, joka on saavuttanut omavaraisuuden.

☀ Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Suomalaista järjestelmä-, prosessi- ja teknologiaosaamista Aasian arvoketjuihin.
- Suomi asemoituu korkeatasoiseksi kumppaniksi, ei bulkkikilpailijaksi, Kiinalle kone-, laite-, konsultointi- ja tutkimisosaamisellaan.
- Erikoistuneita niche-markkinoita, jotka perustuvat laatuun, luotettavuuteen, luontoarvoihin ja vaativiin sovelluksiin.

△ Riskejä ja uhkia

- Suomi menettää edelläkävijäasemansa, kun innovaatiot, standardit ja teollinen mittakaava kehittyvät ensisijaisesti Aasiassa.
- Markkinoille pääsy edellyttää sopeutumista Kiinan määrittelemiін teknologioihin, laatuksiteereihin ja toimituslogiikkaan.
- Suomi jää arvoketjussa toteuttajan tai komponenttitoimittajan rooliin.

🕒 Entä jos...

- Suomi olisi maailman johtava luonnonarvobrändi, joka kannattelee merkittävää kansainvälistä tuote- ja palveluportfoliota?
- Suomelle riittääkin menestykseen kapeat, korkean arvon erikoismarkkinat, joita volyymin dominoija ei tavoittele?

Idän ehdot

poliittinen



Kiinan metsäomaisuuden vapautus

Kiina toteuttaa massiivista kollektiivimetsien omistus-oikeusreformia, joka selkeyttää hallintasuhteita ja antaa viljelijöille sekä yrityksille vahvemmat oikeudet metsämaan hallintaan, käyttöön ja siirtoon. Tämä “kolmen oikeuden erottaminen” (omistus-, sopimus- ja hallinta-oikeus) mahdollistaa metsäomaisuuden käytön lainojen vakuutena ja kannustaa teollisiin investointeihin metsänhoidossa. Reformin tavoitteena on nostaa Kiinassa kotimaisen puun tuotantokykyä ja laatua merkittävästi, mikä voi vähentää Kiinan riippuvuutta puun tuonnista merkittävästi. Kehitys luo maahan uuden, dynaamisen puumarkkinan, joka muuttaa Kiinan roolin globaalista ostajasta kohti omavaraisempaa toimijaa.

ESIMERKKI / KOLLEKTIIVIMETSIEN UUDISTUS

Kiinan valtionneuvosto asetti syyskuussa 2023 takarajan, jonka mukaan siirrettävät metsäoikeudet on määrä saada käytäntöön vuoden 2025 loppuun mennessä. Uudistus sai lisävauhtia lokakuussa 2024, kun presidentti Xi Jinping vieraili hankkeen koekenttänä toimineessa Fujianin maakunnassa. Vierailu kiihdytti toimia myös muun muassa Jiangxissa ja Anhuissa. [45]

taloudellinen



Puurakentaminen Kiinassa

Kiinan kansallinen tavoite hiilineutraalista rakentamisesta yhdistettynä teolliseen puurakentamiseen synnyttää tulevaisuudessa mittavan markkinan kestäville puupohjaisille ratkaisuille. Rakennussektorin tiukentuvat energiatehokkuusvaatimukset sekä vähähiilisyystavoitteet ohjaavat siirtymää kohti massiivipuun ja hybridirakenteiden laajamittaista käyttöä tiheästi asutuissa kaupunkiympäristöissä. Käyttökohteita ovat teollisesti valmistetut rakennusosat, hybridirakenteet, julkisivut ja sisätilojen materiaalit.

ESIMERKKI / PUURAKENTAMINEN OSA VIHREÄÄ SIIRTYMÄÄ

Vuonna 2025 järjestetty kansainvälinen Green Building -konferenssi ja teknologianäyttely nosti puurakentamisen osaksi Kiinan vähähiilistä kaupunkikehitystä. Puurakentamista tarkastellaan Kiinassa yhä selvemmin osana rakennussektorin päästövähennyksiä ja uusia kaupunkitekniologioita. [46]

— Kiinan massiivipuumarkkinan (kuten CLT- ja liimapuuelementit) arvioidaan kasvavan 1,6 miljardista dollarista (2025) 4,7 miljardiin dollariin vuoteen 2031 mennessä (CAGR 19,4 %). [47]

taloudellinen



Kasvikuitujen kilpailu

Puukuitujen rinnalle nousee maatalouden sivuvirroista ja nopeasti kasvavista kasveista valmistettavia kuituja. Suomessa kilpailua ja yhteistyötä synnyttävät etenkin olki, hamppu ja muut kotimaiset peltobiomassat, joita voidaan käyttää pakkauksissa, tekstiileissä, komposiiteissa ja selluprosesseissa. Aasiassa bambun laaja saatavuus, nopea kasvu ja teollinen mittakaava haastavat pohjoisia puukuituja erityisesti kertakäyttötuotteissa ja pakkauksissa. Raaka-aineiden vertailu siirtyy hinnasta myös veden- ja maankäyttöön, logistiikkaan, laatuun, kierrätettävyyteen ja elinkaarivaikutuksiin. Kilpailu voi samalla vauhdittaa moniraaka-aineisia prosesseja.

ESIMERKKI / KIINALAINEN BAMBU

Bambusta on muodostunut merkittävä taloudellinen kulmakivi Anjin maakunnalle Kiinassa. Teollisuus työllistää noin 1000 yritystä ja vuonna 2023 teollisuuden arvioitiin luoneen noin 18 miljardia yuania liikevaihtoa. Anjin maakunta etsii tapoja hyödyntää bambua myös muiden materiaalien, kuten teräksen, kaasun ja ruoan, korvaajana ja tuottamisessa. [48]

— Globaalin bambumarkkinan arvioidaan kasvavan reilusta 79 miljardista dollarista (2025) 115 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä (CAGR 7,7%). [49]

Arvoketjun laajentajat



Nykytilasta, jossa raaka-ainemaiden rooli on ollut puun toimittaminen globaaleille markkinoille, kohti tulevaisuutta, jossa ne hallitsevat hinnan ja koko arvoketjua jalostuksesta logistiikkaan.

Globaalit markkinat painottuvat edelleen hintaan ja toimitusvarmuuteen, mutta puuraaka-aineen pelkkä tarjoaminen ei enää riitä. Suuret metsävarannot omaavat maat hyödyntävät mittakaavaa, julkista ohjausta ja pääomaa laajentaakseen rooliaan raaka-aineen tuottajista arvoketjun aktiivisiksi hallitsijoiksi,

ulottuen jalostukseen, logistiikkaan ja markkinoille pääsyyn asti.

Venäjä, Uruguai, Brasilia ja vastaavat raaka-ainemaana pidetyt toimijat nousevat keskeisiksi tässä muutoksessa tuoden markkinoille sekä edullista raaka-ainetta että kytkevät sitä omaan jalostus- ja toimitusverkostoonsa. Arvoketjun laajentaminen on tietoinen poliittis-taloudellinen valinta, jolla vahvistetaan neuvotteluasemaa ja sidotaan asiakkaat pitkäaikaisiin kokonaisratkaisuihin.

Kestävyys- ja jäljitettävyysskriteerejä sovelletaan eri markkinoilla valikoivasti. Markkinat jakautuvat pysyvästi hintavetoisiin, integroituihin volyymimarkkinoihin ja korkean sääntelyn erikoismarkkinoihin, joihin pääsy edellyttää erillisiä hyväksyntä- ja sertifiointikehyksiä.

Suomalainen metsäelinkeino kohtaa rakenteellisen haasteen korkean kustannustason ja tiukan sääntelyn vuoksi. Kilpailuetu perustuu erikoistumiseen, laatuun ja säädellyille markkinoille pääsyyn, mutta globaalissa kilpailussa asemaa heikentää se, ettei Suomi hallitse arvoketjua raaka-aineesta loppumarkkinaan. Arvoketjussa menestyvät toimijat, jotka pystyvät yhdistämään edullisen tuotannon, suuren volyymin ja toimitusketjun hallinnan yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Valta ja kate eivät synny yksittäisessä tuotantovaiheessa, vaan siinä, kuka määrittää, miten raaka-aine muuttuu markkinoitavaksi ratkaisuksi.

Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Tuotteita vastuullisuusmarkkinoille, segmenteille ja arvoketjuille, joissa Suomi hallitsee raaka-aineesta loppumarkkinaan.
- EU:n tai Pohjoismaiden kanssa strategisia blokkeja vastavoimaksi volyymi- ja hintakilpailulle.
- Panostus pitkäaikaisiin asiakassopimuksiin ja toimitusvarmuuteen.

Riskejä ja uhkia

- Laatu ja vastuullisuus eivät riitä kilpailueduksi markkinoilla, joilla hinta, volyymi ja toimitusketjun kokonaisintegraatio ratkaisevat.
- Erikoistuminen muuttuu haavoittuvuudeksi, kun kysyntä heilahtelee tai säädellyt premiummarkkinat jäävät liian pieniksi.
- Jalostus, investoinnit ja osaaminen siirtyvät lähemmäs kasvavia raaka-aine- ja markkina-keskittymiä ja Suomen rooli arvonaluonnissa kaventuu.

Entä jos...

- Suomen kilpailuetu ei olekaan paras puumateriaali vaan luotettavin arvoketju?
- suomalaiset metsäyhtiöt hakevat kasvun etelän plantaaseista?

Arvoketjun laajentajat

poliittinen



Puunkäytön kaskadivaatimus

Biomassan käyttöä ohjataan sääntelyllä ja rahoituksella siten, että puu hyödynnetään ensisijaisesti pitkäikäisinä tuotteina, uudelleenkäytössä ja kierrätyksessä ennen energiakäyttöä. EU:n uusiutuvan energian direktiivi vahvistaa kaskadiperiaatetta ja rajoittaa suoraa tukea sahatukkien, vaneritukkien ja teollisuuslaatuisten runkopuun energiakäytölle. Kehitys voi nostaa sivuvirtojen jalostusarvoa ja vauhdittaa kiertotaloutta, mutta samalla se kiristää kilpailua raaka-aineesta ja haastaa huoltovarmuuden, alueelliset erot sekä tehtaiden nykyiset energiaintegraatiot.

ESIMERKKI / POLITIIKKASUOSITUKSIA

CEForestry-hankkeen politiikkasuositukset korostavat kaskadikäyttöä keskeisenä keinona saavuttaa EU:n kiertotalous- ja ilmastotavoitteet. Taloudellinen ajattelu perustuu siihen, että puun hiili ja arvo säilyvät talouskierrossa mahdollisimman pitkään. Raportti toteaa, että borealisella alueella, kuten Suomessa, on merkittävä potentiaali nostaa jalostusarvoa siirtymällä pois matalan arvonlisän tuotteista kohti teollisia symbiooseja. Tässä mallissa yhden tehtaan sivuvirta on toisen tehtaan raaka-aine korkean hintaluokan biotuotteille, mikä luo uutta liiketoimintaa olemassa olevan raaka-aineen ympärille. [50]

— EU-alueella puusta ja sen sivuvirroista tuotetaan vuosittain noin 510 TWh energiaa, josta yli 66 % on metsä- ja puuteollisuuden sivuvirtoja. [51]

ympäristöllinen



Avaruusajan puu

Puupohjaiset ja nanoselluloosaa hyödyntävät komposiitit nousevat vaihtoehtoiksi avaruusteknologian rakenteellisissa sovelluksissa. Materiaalien keveys, mekaaninen lujuus ja hallittu käyttäytyminen ilmakehään palaamisen yhteydessä tekevät niistä kiinnostavia erityisesti satelliittien ja muiden kertakäyttöisten avaruusrakenteiden osalta. Puupohjaisten materiaalien etuna on niiden kyky hajota ilmakehässä ilman pysyvän avaruusromun muodostumista. Samanaikaisesti ligniiniin osittainen poistaminen ja puun tiivistäminen tuottavat materiaaleja, joiden ominaislujuus voi ylittää monet metallit. Samalla komposiittimateriaalien säteilynvaiennusominaisuuksia tutkitaan avaruusympäristöissä, ja nanoselluloosapohjaisia materiaaleja tarkastellaan osana laajempaa kevyiden ja muokattavien materiaalien tutkimuskenttää.

ESIMERKKI / PUUNEN SATELLIITTI KIERTORADALLA

Japanilainen Kyoto University ja Sumitomo Forestry ovat kehittäneet LignoSat-satelliitin, jonka runko on valmistettu puusta. Satelliitti laukaistiin avaruuteen vuonna 2024 Kansainväliseltä avaruusasemalta, ja sen tarkoituksena on testata puumateriaalin käyttäytymistä avaruuden äärimmäisissä olosuhteissa. [52]

teknologinen



Supereristeet

Puun kuiduista ja solurakenteesta kehitetään uudenlaisia supereristeitä, joita kutsutaan aerogeeleiksi. Nämä materiaalit ovat erittäin kevyitä ja ne estävät lämmön siirtymistä tehokkaammin kuin nykyiset fossiilipohjaiset eristeet. Valmistuksessa puun oma "liima-aine" eli ligniini korvataan luonnonmukaisilla sidosaineilla, mikä tekee materiaalista huokoista ja paloturvallista. Puupohjaiset supereristeet mahdollistavat ohuemmat seinärakenteet rakentamisessa ilman, että talon energiatehokkuus heikenee. Kehitys nostaa puuraaka-aineen jalostusarvoa ja tarjoaa ympäristöystävällisen vaihtoehdon synteettisille eristemateriaaleille. [53]

ESIMERKKI / PUUSTA JA LEVÄSTÄ ERISTE

Tutkimuksessa on kehitetty uusi eristemateriaali yhdistämällä puun solukkoa ja merilevästä saatavaa alginaattia. Menetelmässä puusta poistetaan ligniini, jolloin tilalle saadaan tyhjää tilaa täyttävä eristekerros. Tuloksena on erittäin kevyt materiaali, joka painaa alle kymmenesosan tavallisen puun painosta. Materiaali on osoittautunut erittäin paloturvalliseksi, sillä se ei ylläpidä liekkiä. Eristeen kyky pitää lämpöä on samalla tasolla parhaiden perinteisten eristeiden kanssa, mutta sen valmistus perustuu kokonaan luonnonmateriaaleihin. [54]

— Globaalin aerogelimarkkinan arvioidaan olevan noin 1,12 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 2,13 miljardiin dollariin vuoteen 2031 mennessä (CAGR 13,63 %). [55]

Läpinäkyvä kahtiajakoisuus



Nykytilasta, jossa metsänhoitoa ohjaavat yleiset käytännöt ja toimijakohtainen päätöksenteko, kohti tulevaisuutta, jossa avoin data, automaatio ja järjestelmätason tulkintamallit jakavat metsätalouden ja toimijat jyrkästi tehostettuihin tuotantometsiin ja elinvoimaa vaaliviin metsiin.

Metsätiedosta on tullut täysin avointa ja reaaliaikais- ta, ja satelliitti-seuranta mahdollistaa jokaisen hehtaarin tilan jatkuvan valvonnan. Luottamus perustuu jatkuvaan vertaisarvioituun ja varmistettuun tietoon, joka on kaikkien saatavilla; myös kansalaisjärjestöt

ja pienyritykset voivat haastaa suuret toimijat suoraan datalla.

Arvoverkosto on jakautunut kahteen jyrkästi erilaiseen osaan: teollisiin tehoplantaaseihin ja luontoarvot edellä oleviin metsiin. Teolliset alueet toimivat tekoälyn ja autonomisten koneiden ohjaamina maksimoiden standardoidun massan tuotannon. Vastapainona on syntynyt “metsäkuiskaajien” ammattikunta, joka hyödyntää eksoskeletoneja ja aisteja vahvistavaa teknologiaa metsän elinvoiman edistämiseksi. Työvoima on sekä erikoistunutta että siinä yhdistyvät syvä biologinen ymmärrys sekä kyky hallita monimutkaista sensoridataa maastossa.

Työvoima on voimakkaasti erikoistunutta, ja työ edellyttää kykyä toimia biologisten prosessien, ennakoivien mallien ja järjestelmätason vastuiden risteyksessä. Arvoketjussa korostuvat toimijat, joilla on pääsy kriittisiin järjestelmiin, tulkintamalleihin ja pitkäaikaisiin sopimuksiin. Pienemmät toimijat eivät ole kadonneet, mutta niiden toimijuus on sidottu alustoihin ja palveluverkostoihin, jotka määrittävät etukäteen mahdollisuudet, riskit ja vastuut.

Mahdollisuuksia ja hyötyjä

- Avoin data ja reaaliaikainen läpinäkyvyys vahvistavat luottamusta, hyväksyttävyyttä ja uusien toimijoiden markkinoille pääsyä.
- Tuotantometsien tehokkuus ja luontoarvometsien vaikuttavuus voidaan optimoida erikseen, kun kokonaisuus suunnitellaan järjestelmätasolla.
- Luontoarvoille, seurantapalveluille, tulkintamalleille ja metsän elinvoiman hoitoon liittyville palveluille uutta liiketoimintaa.

Riskejä ja uhkia

- Metsien jakaminen tuotanto- ja luontoarvometsiin kaventaa monikäyttöisyyttä ja monimuotoisuutta.
- Tehostetut tuotantometsät jäävät liian pieniksi kannattavaan teolliseen käyttöön ja suojellut metsät eivät riitä tarvittaviin ilmastotoimiin.
- Metsän tulkintavalta siirtyy datamallien, alustojen ja valvontajärjestelmien omistajille paikallisten toimijoiden sijaan.

Entä jos...

- metsien jakaminen tuotantometsiin ja luontoarvometsiin alkaa määrittää myös alueiden ja yhteisöjen asemaa yhteiskunnassa?
- data ja avoimuus lisää luottamusta, mutta kaventaa myös toimijoiden omaa päätösvaltaa?

Läpinäkyvä kahtiajakoisuus

taloudellinen



Luontotuloksen hinnoittelu

Luontotuloksen hinnoittelussa metsänhoidon ja maan-
käytön korvaukset perustuvat toteutuneisiin ekologi-
siin hyötyihin. Perinteisten toimenpidepohjaisten maksujen
sijaan taloudellinen vastike kytketään mitattuihin tulok-
siin, kuten biodiversiteetin lisääntymiseen tai vesistö-
vaikutusten vähenemiseen. Malli vaatii ekosysteemi-
palveluiden taloudellista arvottamista sekä luotettavaa
seurantadataa. Kehitys kytkee ekologiset tavoitteet
suoraan liiketoimintalogiikkaan ja mahdollistaa uusia
rahoitusinstrumentteja, kuten tulosperusteisia luontolai-
noja ja hyvityksiä.

ESIMERKKI / TULOSPERUSTEISET YMPÄRISTÖKORVAUKSET

EU:n yhteisessä maatalouspolitiikassa (CAP) on otettu
käyttöön tulosperusteisia malleja (RBPS), joissa kor-
vaus kytketään suoraan luonnon monimuotoisuuden
indikaattoreihin. Esimerkiksi tiettyjen niittykasvilajien
esiintymisrunsaus tai maaperän laatu voivat toimia mak-
sun perusteena. Toisin kuin perinteisissä tuissa, maksu
suoritetaan vasta, kun asiantuntija tai kaukokartoitus on
todentanut sovitun ekologisen tilan saavuttamisen. [56]

— Globaalin tulos- ja indikaattoripohjaisten luonto-
luottojen markkinan (sisältäen mitattuihin ekologi-
siin tuloksiin perustuvat hyvitykset ja rahoitusinstrumentit)
arvioidaan olevan noin 8,8 miljardia dollaria vuonna
2026 ja kasvavan 38,0 miljardiin dollariin vuoteen 2033
mennessä (CAGR 23,3 %). [57]

teknologinen



Parvirobotiikka

Yhden raskaan monitoimikoneen tehtäviä jaetaan pie-
nille autonomisille koneille ja drooneille, jotka suunnitte-
levat työn yhdessä ja vaihtavat tietoa keskenään. Parvi
voi istuttaa, seurata, hoitaa ja korjata puustoa jatkuvasti
sekä kohdentaa toimet yksittäisiin puihin. Kevyt ka-
lusto vähentää maaperän tiivistymistä ja mahdollistaa
työskentelyn vaikeakulkuisilla alueilla, kun järjestelmän
toimintakyky ei riipu yhdestä koneesta. Parvirobotiikka
mahdollistaa metsänhoidon, jossa jokainen puu voi-
daan käsitellä yksilöllisen tarpeen mukaan, optimoiden
samalla koko kaluston toimintaa ja vähentäen seisokkeja
hajautetun ohjauksen avulla.

ESIMERKKI / HARVENNUS SUURTEHODRONEILLA

Ruotsalainen AirForestry kehittää sähköllä toimivaa har-
vennusdroonijärjestelmää, jossa ilmakäyttöinen laite len-
tää metsäalueelle, kiinnittää työkalun valittuun puuhun,
karsii ja katkaisee rungon sekä kuljettaa sen jatkokäsit-
telyyn ilman raskasta maanpäällistä kalustoa. [58]

— Markkina-analyysin mukaan parvirobotiikan globaali
markkina oli noin 1 miljardi Yhdysvaltain dollaria vuonna
2025 ja sen ennustetaan kasvavan yli 11 miljardiin dolla-
riin vuoteen 2030 mennessä (CAGR 27,0%). [59]

sosiaalinen



Biotalous hybridiosaaminen

Biotalous osaaminen rakentuu yhä useammin metsä-
tieteen, ekologian, biokemian, materiaalitekniikan, data-
tieteen ja liiketoiminnan yhdistelmistä. Koulutusohjelmat
ja työtehtävät siirtyvät kapeista ammattirajoista kohti
monialaisia tiimejä, jotka ymmärtävät samanaikaisesti
metsäekosysteemejä, puun molekyyllitason ominaisuuksia,
teollisia prosesseja ja datalähtöistä päätöksentekoa. Uusia
osaajaprofiileja syntyy esimerkiksi digitaaliseen
metsänhoitoon, biopohjaisten materiaalien suunnit-
teluun, luontovaikutusten todentamiseen ja teollisten
järjestelmien optimointiin. Kehitys voi vahvistaa korkean
jalostusarvon liiketoimintaa, mutta edellyttää tutkintojen,
jatkuvan oppimisen ja yritysten koulutuksen uudistamis-
ta. Kilpailu osaajista kasvaa myös muiden toimialojen
kanssa.

ESIMERKKI / YHDISTELMÄKOULUTUSOHJELMA

Joensuun yliopiston englanninkielinen kandidaatti-
ohjelma *Sustainable Forest Bioeconomy* yhdistää
metsätieteet, biotalous ja siihen liittyvät luonnonvaro-
jen kestävään käyttöön liittyvät kokonaisuudet yhdeksi
tutkinto-ohjelmaksi. Opinnossa käsitellään metsien bio-
logisia ja ekologisia perusteita, raaka-aineiden kestäviä
käyttömuotoja sekä biotalous rakenteita ja liiketoimin-
tamalleja, ja ne sisältävät elementtejä myös data-analy-
tiikasta ja päätöksenteon tukijärjestelmistä. [60]



Lounas

Strategiset toimenpiteet



Strategiset toimenpiteet



Mihin kannattaa panostaa jo tänään, jos halutaan menestyä monenlaisissa tulevaisuuksissa?

Edellisen osion oppimisskenaariot kuvaavat erilaisia vaihtoehtoisia ja mahdollisia tulevaisuuksia Suomen metsäelinkeinolle. Vaikka skenaariot eroavat toisistaan merkittävästi, niiden tarkastelu paljastaa myös yhteisiä nimittäjiä. Samat haasteet, mahdollisuudet ja strategiset kysymykset toistuvat useissa erilaisissa tulevaisuuksissa riippumatta siitä, korostuvatko datatalous, materiaalikierto, luontoarvot, globaalit markkinat, sääntely tai teknologinen kehitys. Juuri näistä yhtymäkohdista muodostuvat strategiset toimenpideteemat.

Seuraavassa osiossa esitettävät visiot kuvaavat tavoiteltuja tulevaisuuksia, joita metsäelinkeinoon toimijat voivat yhdessä pyrkiä rakentamaan systeeminen positiivinen vaikuttavuus keskiössä. Tässä osiossa tarkasteltavat strategiset toimenpideteemat puolestaan kuvaavat asioita, joiden merkitys korostuu jokaisen toimijan kohdalla ja useissa erilaisissa tulevaisuuksissa riippumatta siitä, mikä kehityspolku lopulta toteutuu. Teemat auttavat tunnistamaan, mitä omassa toiminnassa kannattaa vahvistaa, mitä riskejä ehkäistä ja mitä muutoksia seurata*.

Tulevaisuuden kilpailukyky ei rakennu vain reagoimalla muutoksiin silloin, kun ne ovat jo näkyvissä. Monet raportissa tunnistetut muutokset etenevät jo nyt signaaleina, investointeina, sääntelynä, markkinavalintoina ja uusina teknologioina. Siksi keskeinen kysymys ei ole ainoastaan se, mitä tulevaisuudessa tapahtuu, vaan missä asioissa kannattaa toimia jo tänään. Seuraavat teemat auttavat tunnistamaan kyvykkyyksiä, kumppanuuksia ja valintoja, jotka vahvistavat kilpailukykyä, uudistumiskykyä ja vaikuttavuutta useissa erilaisissa tulevaisuuksissa.

*Teemoihin on kiinnitetty **Pidä silmällä** listaus: Seuraa erityisesti näitä signaaleja ja oppimisskenaariota. Niiden vahvistuminen kertoo, että kyseisen strategisen teeman merkitys kasvaa ja sen edellyttämät kyvykkyydet nousevat kilpailukyvyn kannalta kriittisiksi.

1. Pidä kiinni arvонуonnista

Useissa oppimisskenaarioissa arvонуonnin painopiste siirtyy pois perinteisestä puuraaka-aineen tuotannosta. Arvo syntyy yhä useammin datasta, asiakassuhteista, immateriaalioikeuksista, palveluista, teknologioista, brändeistä tai kyvystä hallita arvoketjua kokonaisuutena.

Arvонуonti keskittyy myös asiakasrajapintaa hallitseville globaaleille brändeille, dataa hallitseville alustoille tai toimijoille, jotka kykenevät määrittämään arvoketjun pelisäännöt, investoinnit ja markkinoille pääsyn ehdot.

Moniskenaarinen johtopäätös onkin, että kilpailu ei välttämättä ratkea siihen, kuka kasvattaa puun, vaan siihen, kuka hallitsee asiakkaan, teknologian, datan, palvelut tai markkinakanavan. Metsäelinkeinon tulevaisuuden kannalta keskeinen kysymys on, missä kohtaa arvoketjua suurin arvo syntyy ja miten suomalaiset toimijat voivat säilyttää siinä merkittävän roolin.

Tämä edellyttää panostuksia korkeamman jalostusarvon tuotteisiin, aineettomiin oikeuksiin, asiakasymmärrykseen, palveluliiketoimintaan sekä uusiin ansaintamalleihin. Samalla pienenee riski, että suomalainen metsäelinkeino jää toimimaan raaka-aineen toimittajana tai osana muiden hallitsemia arvoketjuja.



— Brändien metsät



- Milligrammatalous
- Kuorijalostamo
- Rakenteet kiertävänä pääomana

2. Rakenna datasta strateginen kilpailuetu

Data esiintyy lähes kaikissa oppimisskenaarioissa joko kilpailukyvyn lähteenä, toiminnan mahdollistajana tai strategisena riskinä. Metsätietoon, jäljitettävyyteen, sensoridataan, digitaalisiin kaksosiin, algoritmeihin ja tekoälyyn perustuva päätöksenteko muuttaa koko metsäelinkeinon toimintalogiikkaa.

Useissa skenaarioissa menestyvät ne toimijat, jotka kykenevät hyödyntämään dataa tehokkaasti, luotettavasti ja turvallisesti. Samalla merkittävimmät uhkakuvat liittyvät datan hallinnan menettämiseen, alustariippuvuuteen, kyberturvallisuuteen sekä siihen, että arvokain osa arvoketjusta siirtyy datan omistajille.

Datan merkitys ei kuitenkaan rajoitu teknologiaan. Se vaikuttaa myös markkinoille pääsyyn, vastuullisuuden todentamiseen, luottamuksen rakentamiseen ja asiakassuhteiden hallintaan.

Metsäelinkeinon strateginen kysymys ei ole ainoastaan datan kerääminen, vaan sen omistamiseen, jakamiseen, hyödyntämiseen ja arvонуontiin liittyvien pelisääntöjen rakentaminen. Kilpailuetua saavuttavat toimijat, jotka kykenevät yhdistämään metsäosaamisen, datatalouden ja kyberturvallisuuden osaksi omaa liiketoimintaansa.



— Algoritminen arvoketju



- Älykäs pakkaus data-alustana
- Algoritminen puukauppa
- Digitaalinen kemia

3. Vahvista resilienssiä ja sopeutumiskykyä

Lähes kaikissa oppimisskenaarioissa korostuu epävarmuus. Syyt vaihtelevat, mutta vaikutus on sama: toimintaympäristö muuttuu aiempaa vaikeammin ennakoitavaksi.

Ilmastomuutos, metsäterveys, geopolittiset jännitteet, toimitusketjujen häiriöt, energiamarkkinat, kyberriski, sääntelyn muutokset ja markkinoiden nopeat heilahtelut haastavat metsäelinkeinon toimintakykyä. Menestys ei tällöin perustu pelkästään tehokkuuteen vaan kykyyn sopeutua erilaisiin muutoksiin.

Resilienssi tarkoittaa kykyä jatkaa toimintaa myös tilanteissa, joissa alkuperäiset oletukset eivät toteudu. Se näkyy esimerkiksi raaka-ainepohjan monipuolistamisena, joustavina toimitusketjuina, vaihtoehtoisina markkinoina, osaamisen monipuolistamisena sekä kriittisten toimintojen varmistamisena.

Resilienssi ei ole puolustautumista muutosta vastaan, vaan valmiutta toimia muuttuvissa olosuhteissa. Useissa skenaarioissa kilpailuetua eivät saavuta ne toimijat, jotka ovat optimoineet toimintansa yhtä tulevaisuutta varten, vaan ne, jotka kykenevät toimimaan menestyksekkäästi useissa erilaisissa toimintaympäristöissä.



— Häiriötila



- Vakuutusohjattu metsänhoito
- Häiriöohjautuva puuvirta
- Kemikaalihuoltovarmuus

4. Uudista osaaminen ja TKI-järjestelmä

Monet oppimisskenaariot kuvaavat tulevaisuutta, jossa kilpailukyky rakentuu osaamisen, tutkimuksen, kokeilujen ja uuden tiedon hyödyntämisen ympärille. Samalla teknologiat, materiaalit, markkinat ja asiakkaiden tarpeet muuttuvat tavalla, joka haastaa perinteiset osaamisrakenteet.

Tulevaisuuden metsäelinkeinossa biologinen ymmärrys, materiaalitutkimus, tekoäly, data-analytiikka, kaupallistaminen, palveluliiketoiminta ja systeeminen ajattelu yhdistyvät yhä tiiviimmin. Yksittäinen osaamisalue ei enää riitä, vaan kilpailuetu syntyy kyvystä yhdistää erilaisia näkökulmia ja tieteenaloja.

Useissa skenaarioissa Suomi menestyy juuri osaamisen, tutkimuksen ja innovaatioiden avulla myös tilanteissa, joissa tuotantoa, markkinoita tai pääomia siirtyy muualle. Toisaalta osaamispohjan kaventuminen, hidas uudistuminen tai TKI-investointien puute näkyvät monissa skenaarioissa merkittävinä riskeinä.

Moniskenaarinen johtopäätös on selvä: osaamisen jatkuva uudistaminen, tutkimusinvestoinnit sekä kyky kokeilla uusia ratkaisuja muodostavat tulevaisuuden kilpailukykyyn perustan lähes kaikissa mahdollisissa kehityskuluissa.



— Kokeilulaboratorio



- Puun geenimuuntelu ja jalostus
- Biotalous hybridiosaaminen
- Parvirobotiikka

5. Rakenna strategisia kumppanuuksia ja ekosysteemejä

Harva oppimisskenaario kuvaa tulevaisuutta, jossa yksittäinen toimija pystyy ratkaisemaan keskeiset haasteet yksin. Sen sijaan lähes kaikissa tulevaisuuksissa korostuvat yhteistyö, verkostot ja uudenlaiset kumppanuudet.

Metsäelinkeino kytkeytyy yhä tiiviimmin energiaan, teknologiaan, terveyteen, dataan, materiaalitalouteen ja logistiikkaan. Samalla monet ratkaisut edellyttävät yhteistyötä yritysten, metsänomistajien, viranomaisten, asiakkaiden, tutkimusorganisaatioiden ja kokonaan uusien toimijaryhmien välillä.

Kumppanuuksien merkitys näkyy myös kansainvälisesti. Useissa skenaarioissa kilpailu käydään suurten arvoverkostojen, kauppablokkien ja ekosysteemien välillä. Yksittäisen organisaation tai edes yksittäisen maan mahdollisuudet vaikuttaa kehityksen suuntaan voivat olla rajallisia ilman laajempaa yhteistyötä.

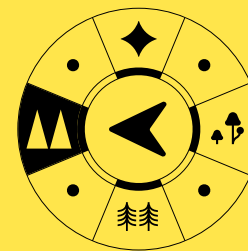
Strateginen kysymys ei siis ole ainoastaan, mitä metsäelinkeino tekee itse, vaan myös keiden kanssa, millaisissa verkostoissa ja millä roolilla se toimii. Tulevaisuuden kilpailukyky rakentuu yhä useammin kyvystä olla osa oikeita ekosysteemejä ja luoda niissä uutta arvoa yhdessä muiden kanssa.



— Idän ehdot



- Tehtaat vetyhubeina
- Biodiversiteettikrediitit
- Kaupan läpinäkyvyysvaatimus



Länsi

Visiot



Metsäelinkeino 2050 visiot:

tulevaisuudet, joihin yhdessä tähdätään



Mitä visiot ovat – ja mitä ne eivät ole?

Visiot kuvaavat toivottavia tulevaisuuksia, joita kohti voidaan yhdessä pyrkiä. Ne eivät ennusta tulevaisuutta, vaan auttavat suuntaamaan päätöksentekoa lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Yksikään visio ei toteudu yhden organisaation, investoinnin tai päätöksen seurauksena. Visiot kuvaavat systeemisistä muutoksista, joiden toteutuminen edellyttää samanaikaista kehitystä esimerkiksi tutkimuksessa, osaamisessa, liiketoiminnassa, sääntelyssä, infrastruktuurissa ja yhteiskunnallisessa hyväksyttävyydessä. Ne voivat myös täydentää toisiaan: tulevaisuudessa voi toteutua elementtejä useasta visiosta samanaikaisesti.

Visiot [61] on rakennettu erityisesti oppimiskenaarioiden avulla siten, että ne vahvistavat yhdessä tunnistettuja menestymisen edellytyksiä – mahdollisuuksien ja riskien tunnistamista – useissa vaihtoehtoisissa tulevaisuuksissa, jotka palvelevat systeemistä kestävästä kasvusta. Visioissa on myös ”strateginen sivu”: edellisessä osiossa tunnistettujen strategisten toimenpiteiden tavoin ne tarjoavat hyödyllisiä suuntaviivoja miten ja miksi lähteä liikkeelle. Listatut visioon liittyvät signaalit ja valikoidut signaalikuvaukset konkretisoivat lisää vision tahtotilaa.

Visiot ovat:

- yhteisen keskustelun ja suunnan välineitä
- eri toimijoita yhdistäviä tavoitteellisia näkökulmia
- lähtökohtia strategisille valinnoille ja yhteistyölle

Visiot eivät ole:

- valmiita strategioita tai toimintasuunnitelmia
- yksittäisen toimijan tavoitteita
- toisensa poissulkevia vaihtoehtoja



”Kolme eri visiota pitäisi pystyä yhdessä yhteensovittamaan.”

Miten hyödynnät visioita ja tämän osion sisältöjä?

Visio- ja ratkaisukuvaukset: Tunnista mahdollisuuksia, muutoksia ja näiden vauhdittajia

Pohdi, mitä uusia mahdollisuuksia ja muutosten edellytyksiä visioissa toistuu. Kiinnitä erityistä huomiota visioiden ja ratkaisujen taustalla oleviin muutoksiin sekä kyvykkyyksiin suhteessa nykyisiin toiminta- ja ajattelumalleihin.

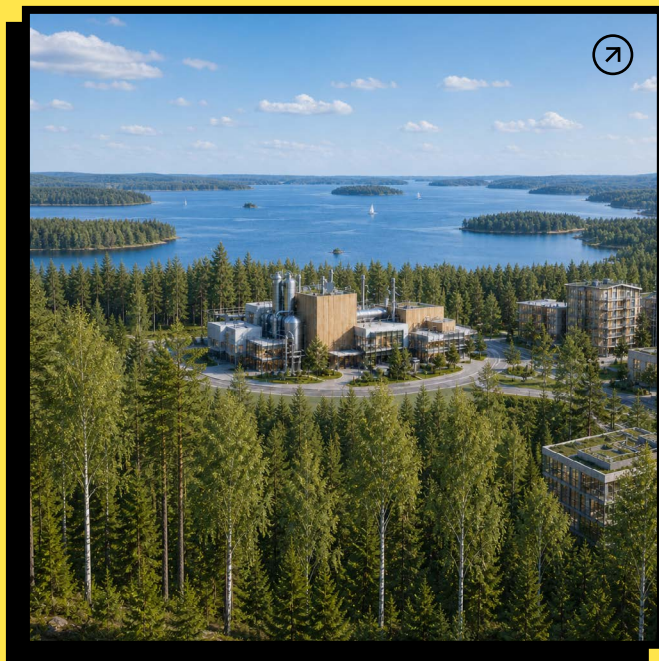
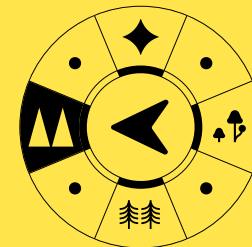
Visioiden toimenpiteet: Tunnista arvoa luovat toimenpiteet ja oma roolisi niiden vauhdittajana

Kiinnitä huomiota toimenpiteisiin, joilla on merkitystä ja arvoa riippumatta siitä, millainen tulevaisuus lopulta toteutuu. Pohdi erityisesti, missä asioissa oma organisaatiosi tai verkostosi voi vaikuttaa eniten tai miten kasvattaa omaa vaikuttavuutta halutun muutoksen vauhdittajana.

Visiota konkretisoivat tulevaisuussignaalit: Tunnista varhaisia merkkejä muutoksesta ja toimi edelläkävijänä
Hyödynnä tulevaisuussignaaleja tunnistaksesi, millaisia kekeiluja, teknologioita, liiketoimintamalleja ja ilmiöitä on jo nähtävissä tänään. Kiinnitä erityistä huomiota signaaleihin, joiden vaikutus voi ulottua oman toimialan, arvoketjun tai nykyisen toimintalogiikan ulkopuolelle. **Minkä signaalin oma organisaatiosi tuo Tulevaisuustutkalle?**

Metsäelinkeino 2050 visiot:

tulevaisuudet, joihin yhdessä tähdätään



korkean arvon materiaalikierto



älykäs ja autonominen arvoverkko



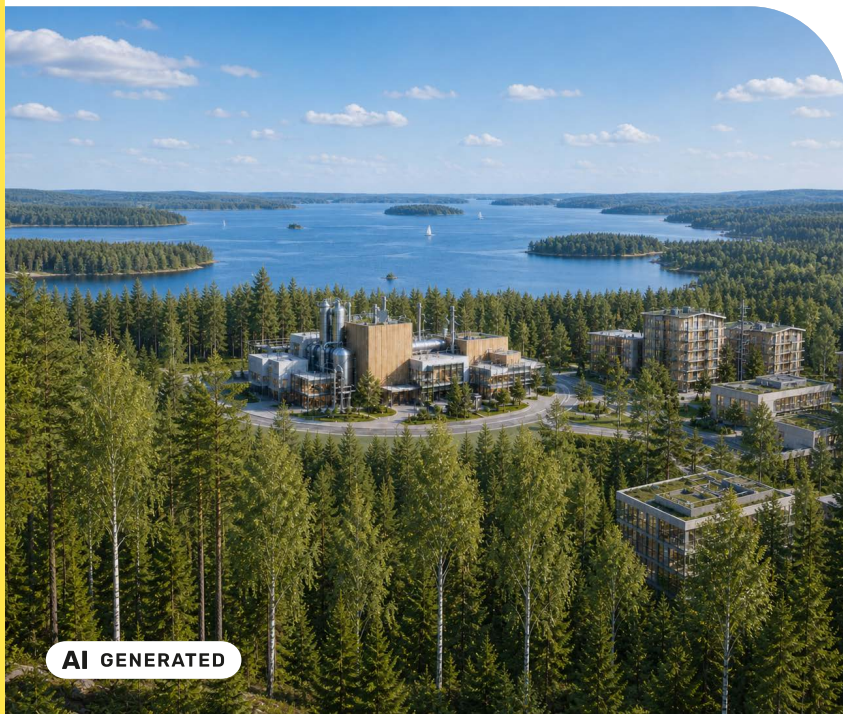
resilientti luontopääoma

i Aloita visiosta, jota haluaisit olla rakentamassa, ja pohdi mikä olisi ensimmäinen askel sitä kohti.

Korkean arvon materiaalikierto

Korkean arvon materiaalikierto muuttaa metsäelinkeinon logiikan: jokainen kuitu, molekyyli ja sivuvirta pidetään kierrossa mahdollisimman pitkään ja mahdollisimman korkeassa arvossa. Puu on monikäyttöinen, jatkuvasti jalostuva materiaalialusta, jonka arvo kasvaa kierrosta toiseen. Arvo syntyy kyvystä yhdistää eri raaka-aineita, suunnitella tuotteet kiertoön ja hyödyntää materiaali aina seuraavaan parhaaseen käyttötarkoitukseen.

Suomi voi voittaa tässä murroksessa rakentamalla maailman toimivimmat kiertotalousratkaisut, joissa materiaalit, data ja liike-toimintamallit kytkeytyvät saumattomasti yhteen. Tämä visio kutsuu siirtymään volyymiajattelusta arvon optimointiin: tekemään vähemmästä enemmän ja rakentamaan kilpailukykyä kyvystä pitää materiaali liikkeessä, ei kuluttaa sitä loppuun.



Vision keskeiset ratkaisualueet

- * Nollahukka ohjaa koko järjestelmää, jossa materiaalien arvo pyritään säilyttämään kierrossa mahdollisimman pitkään ja hävikki minimoimaan jokaisessa vaiheessa. Puun energiahyödyntäminen on vasta viimeinen vaihtoehto, kun materiaallinen arvo on jo otettu talteen. Näin koko arvoketju rakentuu sen varaan, että puu, kuidut, kemialliset komponentit ja sivuvirrat pysyvät käytössä mahdollisimman korkeassa arvossa.
- * Kiertotalousmuotoilu tekee materiaalit helposti eroteltaviksi, korjattaviksi, uudelleenkäytettäviksi ja kierrätettäviksi, ja materiaalivalinnat tehdään elinkaaren, kierrätettävyyden ja kokonaisvaikutusten perusteella. Samalla jakeiden täysarvoinen hyödyntäminen varmistaa, että kuitu, kuori, ligniini, uuteaineet ja prosessien sivuvirrat jatkavat kiertoa tuotteina, kemikaaleina, tekstiileinä, pakkauksina, rakenteina ja teknisinä komponentteina.
- * Suurissa volyymeissa korostuvat monomateriaalit ja käyttötarkoitukseen riittävän hyvät ratkaisut, jotka pitävät materiaalit kierrossa pitkään. Monomateriaalisuus helpottaa lajittelua, kierrätystä ja uudelleenkäyttöä sekä puupohjaisissa että siellä, missä se on kokonaisuuden kannalta perusteltua, myös fossiilisesta valmistetuissa materiaaleissa. Näin materiaalikierto yksinkertaistuu ja korkea kierrätysaste on mahdollista saavuttaa laajassa mittakavassa.
- * Pohjoisen puun lujuus, kuitupituus, rakenne ja kemialliset ominaisuudet nostetaan korkean jalostusasteen käyttöön yhdistämällä uusia ja vanhoja raaka-aineita toisiaan täydentäviksi hybridimateriaaleiksi. Perinteisesti kasvatettu puu, geneettisesti muokattu puu, soluviljelyllä tuotettu puubiomassa sekä muut materiaalit muodostavat hybridituotteita, jotka laajentavat käyttökohteita ja markkinoita perinteisten ratkaisujen rinnalla.
- * Materiaaliturva rakentuu hajautetuista syötteistä, korkeasta kierrätysasteesta ja joustavista prosesseista, jotka mukautuvat raaka-aineiden saatavuuteen ja laatuun. Sääshokit, tuholaiset ja raaka-ainekatkokset eivät pysäytä arvonaluontia, kun eri jakeille on useita käyttökohteita ja prosessit joustavat tilanteen mukaan. Myös materiaalivalinnat ja tuotantojärjestelmät mukautuvat siihen, mitä raaka-aineita kulloinkin on saatavilla ja missä muodossa niiden arvo saadaan parhaiten säilytettyä.

Korkean arvon materiaalikierto

○ Mitä visio erityisesti haastaa pohtimaan?

Entä jos tulevaisuuden arvokkaimmat metsäpohjaiset tuotteet eivät ole vielä olemassa?

✓ Mitä vision toteutuminen edellyttää?

Yhteisiä painopisteitä, joiden avulla voidaan rakentaa tulevaisuuden kilpailukykyä, resilienssiä ja uudistumiskykyä. →

✓ Mitä voimme visiolla saavuttaa?

Arvonlisän kasvu, korkean jalostusasteen markkinat ja sivuvirroista syntyvä liiketoiminta joita kestävyysajattelu ja kiertotalous tukevat.

✓ Miksi toimia juuri nyt?

26 → 52 miljardia EUR

Suomen biotalousstrategian tavoitteena on kaksinkertaistaa biotalouden arvonlisävuoteen 2035 mennessä. [62]

2,5 miljoonaa työpaikkaa

Kiertotalouden arvioitu työpaikkavaikutus EU:ssa vuoteen 2030 mennessä. [64]

+8,5 % / vuosi

Biopohjaisten tekstiilien globaali markkina kasvaa voimakkaasti [63]

Tutki ja kehitä

- Kehitetään puun, sivuvirtojen ja muiden biopohjaisten raaka-aineiden korkean jalostusasteen tuotteita ja liiketoimintaa, jotta arvoa voidaan kasvattaa ilman vastaavaa kasvua raaka-aineen käytössä.
- Suunnataan tutkimusta ja investointeja materiaalitehokkaisiin, vähän energiaa kuluttaviin tuotantomenetelmiin sekä resurssi- viisaisiin prosesseihin.
- Hyödynnetään nykyistä laajemmin puun eri jakeita, sivuvirtoja ja uusia biomateriaaleja uusien tuotteiden, kemikaalien ja materiaaliratkaisujen kehittämisessä.
- Vahvistetaan aineettoman arvonnäkökulman kyvykkyyksiä kehittämällä teknologioita, patenteja ja kansainvälisesti kilpailukykyistä IPR-portfoliota.
- Rakennetaan pitkäjänteistä TKI-yhteistyötä, joka yhdistää materiaalitutkimuksen, kierto- talouden, digitalisaation ja liiketoiminnan kehittämisen.

Rakenna mahdollistava ekosysteemi

- Luodaan tehokkaat materiaali- kierrot ja sivuvirtojen hyödyntämiseen perustuvat ekosysteemit, joissa yhden toimijan sivuvirta toimii toisen toimijan raaka- aineena.
- Kehitetään kiertotalouskeskittymiä ja teollisia yhteistyömalleja, jotka kokoavat yhteen materiaali- virrat, osaamisen ja investoinnit.
- Rakennetaan yhteisiä toiminta- malleja, standardeja ja mitta- reita, jotka tukevat materiaalien jäljitettävyyttä, kiertoa ja arvon säilyttämistä.
- Vahvistetaan logistisia ratkaisuja ja infrastruktuuria, jotta sekä neitseelliset että kierrätetyt materiaalivirrat liikkuvat tehokkaasti kotimaassa ja kansainvälisesti.
- Asemoidaan Suomi kansain- välisesti kiertotalouden, mate- riaalikierrojen ja korkean arvon biomateriaaliratkaisujen edellä- kävijäksi ja alustatoimijaksi.

Uudista osaamista

- Laajennetaan metsäalan osaa- mispohjaa puuntuotannosta kohti materiaalien, kemian, kiertotalouden ja liiketoiminnan kokonaisuuksia.
- Vahvistetaan poikkitieteellistä koulutusta, jossa yhdistyvät luonnontieteet, teknologia, data, muotoilu ja kaupallistaminen.
- Tehdään kiertoajattelusta ja re- surssiviisaudesta osa koulutusta kaikilla koulutusasteilla.
- Kehitetään datan hyödyntämi- seen, materiaalien jäljitettävyy- teen ja digitaalisiin ratkaisuihin liittyviä valmiuksia koko arvoket- jussa.
- Rakennetaan yhteistyötä koulu- tuksen, tutkimuksen ja yritysten välille, jotta uudet osaamiset ja ratkaisut siirtyvät nopeammin käytäntöön.

Korkean arvon materiaalikierto

Signaalit ↗

Ligniinasfaltti	→ ympäristöllinen	●
Kuorijalostamo	→ ympäristöllinen	●
Molekyylitason kierrätys	→ ympäristöllinen	●
Avaruusajan puu	ympäristöllinen	○
Tekstiili-integraatti	ympäristöllinen	○
Kierrätettävät komposiitit	teknologinen	●
Puupohjaiset pakkausvaahdot	teknologinen	●
Tulostettavat puutuotteet	teknologinen	●
Biohajoava elektroniikka	→ teknologinen	○
Fotoninen puu	teknologinen	○
Orgaaniset akut	teknologinen	○
Supereristeet	teknologinen	○
Milligrammatalous	→ taloudellinen	●
Rakenteet kiertävänä pääomana	taloudellinen	●
Monomateriaalivaatimus	polittinen	●
Puu ruokana	sosiaalinen	○

taloudellinen ↗



Milligrammatalous

Metsäteollisuuden arvonluonti siirtyy biomassavolyymien optimoinnista kohti korkean jalostusarvon molekyylejä ja erikoiskemikaaleja. Sellun ja sahatavaran ohella yhä suurempi osa arvosta syntyy sivuvirroista eristetyistä yhdisteistä, kuten ligniinistä, betuliinista, steroleista ja nanoselluloosasta, joiden kilohinnat voivat olla moninkertaisia perinteisiin metsäteollisuuden tuotteisiin verrattuna. Kehitys mahdollistaa merkittävän arvonlisän kasvun ilman hakkuiden lisäämistä ja kytkee metsäteollisuuden tiiviimmin kemian- ja lääketeollisuuden sekä korkean teknologian arvoketjuihin.

ESIMERKKI / TUOTEPORTFOLION ARVONNOUSMAHDOLLISUUS

Metsäbiotalouden tiedepaneelin Lankusta lääkkeisiin -raportti osoittaa, että merkittävä osa metsäsektorin tulevasta arvonlisästä voi syntyä sellu- ja sahateollisuuden sivuvirtojen jatkojalostuksesta korkean arvon kemikaaleiksi ja materiaaleiksi. Raportin mukaan esimerkiksi ligniinin jalostaminen hartseiksi, liimoiksi, kovahiileksi tai akkumateriaaleiksi voi tuottaa miljardiluokan arvonlisän ilman raaka-ainevolyymien kasvattamista. Vastaavasti sellun jatkojalostus nanoselluiksi, tekstiilikuiduiksi ja erikoissovelluksiin nostaa yksikköarvoa merkittävästi verrattuna vientiselluun. [65]

ympäristöllinen ↗



Kuorijalostamo

Puunkuori nähdään arvokkaana raaka-aineena eikä pelkkänä poltettavana sivuvirtana. Tutkimukset osoittavat, että kuori sisältää runsaasti tanniineja ja bioaktiivisia yhdisteitä, jotka voidaan erottaa talteen liima-, biokemikaali- ja lääkeainetuotannon tarpeisiin, mikä kasvattaa merkittävästi metsäteollisuuden arvonmuodostusta. Lisäksi kuoren uuttoprosessien kehitys, mukaan lukien perinteiset ja kehittyneet vihreät menetelmät, mahdollistaa aiemmin alihyödynnettyjen fraktioiden tehokamman talteenoton ja jatkojalostuksen biopohjaisiksi materiaaleiksi. Kuorijalostamo tukee metsäteollisuuden siirtymää kohti kiertobiotaloutta, sillä myös uuttamisen jälkeiset jäännösjakeet voidaan hyödyntää esimerkiksi biokomposiiteissa tai biopohjaisissa vaahdoissa sen sijaan, että ne päätyisivät energiakäyttöön.

ESIMERKKI / VESIPOHJAINEN KUUSENKUOREN UUTTO

ForestAntivirals-projektin tutkijat osoittavat, että kuusen kuorta voidaan käsitellä pilot-mittakaavassa niin, että siitä saadaan talteen polyfenolirikkaita ja bioaktiivisia jakeita pelkän veden avulla. Tutkimuksessa vertailtiin hydrodynaamista kavitaatiota ja kuumavesiuuttoa käyttäen suoraan sahalta saatua teollista kuorijaetta. Molemmat menetelmät tuottivat uutteita, joilla oli antibakteerisia, antiviraalisia ja antioksidanttisia ominaisuuksia. Kuumavesiuutto tuotti enemmän liuenneita kiintoaineita sekä hieman enemmän tanniineja ja stilbeenejä, kun taas hydrodynaamisen kavitaation uutteet osoittivat vahvempaa antibakteerista aktiivisuutta. [66]

Korkean arvon materiaalikierto

ympäristöllinen 7



Molekyylitason kierrätys

Molekyylitason kierrätys tarkoittaa kemiallisia teknologioita, joissa puupohjaiset kuidut, tekstiilit ja muovit pilkotaan hallitusti takaisin perusmolekyyleiksi tai raaka-aineiksi. Menetelmä mahdollistaa materiaalin valmistamisen uudelleen ilman mekaaniselle kierrätykselle tyypillistä laadun heikkenemistä. Kemiallinen kierrätys täydentää mekaanisia menetelmiä erityisesti sellaisten materiaalivirtojen osalta, joita on vaikea kierrättää perinteisin keinoin. Teknologia lisää kierrätyskierrosten määrää ja tukee siirtymää kohti kiertotaloutta, jossa materiaalit pysyvät käytössä pidempään. Ratkaisua vähentää polttoon päätyvän jätteen määrää ja pienentää neitseellisen raaka-aineen tarvetta tekstiili- ja pakkaus-sektoreilla.

ESIMERKKI / TEKSTIILIKUIDUN KIERRÄTYS

Aalto- ja Helsingin yliopistojen yhteistyössä kehittämä loncell-teknologia hyödyntää ionista liuotinta, joka on turvallinen ja kierrätettävissä lähes kokonaan takaisin prosessiin. Tämä erottaa menetelmän perinteisestä viskoosiprosessista, jossa käytetään haitallisia kemikaleja. Teknologian on osoitettu soveltuvan puun ohella sanomalehtipaperin, pahvin ja poistotekstiilien hyödyntämiseen. Kehitys mahdollistaa monipuolisten selluloosapohjaisten jätevirtojen integroimisen osaksi tekstiilien arvoketjua. [67]

ympäristöllinen 7



Ligniini-asfaltti

Ligniiniä käytetään biopohjaisena sideaineena asfalttimassoissa korvaamaan fossiilista bitumia. Bitumi on öljynjalostuksen sivutuote, jonka valmistus ja käyttö muodostavat merkittävän osan tienrakennuksen hiili-dioksidipäästöistä. Ligniinin hyödyntäminen pienentää päällysteen hiilijalanjälkeä ja mahdollistaa biogeenisen hiilen varastoinnin tieinfrastruktuuriin. Teknologia on edennyt koerakentamistavasta laajempiin teollisiin pilotteihin, joissa seurataan materiaalin rasituskestävyyttä, kierrätettävyyttä ja soveltuvuutta vaihteleviin sääolosuhteisiin.

ESIMERKKI / KOEPÄÄLLYSTYKSET KELSINGISSÄ

Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos Stara testasi syksyllä 2025 ligniiniä sisältäviä asfalttimassoja neljässä kohteessa. Koepäällistystyksiä toteutettiin kolmella ajoradalla ja yhdellä pyörätiellä, muun muassa vilkasliikenteisellä Koskelantiellä. Hankkeessa seurataan eri asfalttimassakoostumusten kestävyttä ja dokumentoidaan tuloksia yhteistyössä kaupungin asfaltin päästöjen vähentämistyöryhmän kanssa. Tavoitteena on varmistaa ligniinin toimivuus sideaineena ja arvioida sen vaikutusta päällysteen elinkaarikustannuksiin kaupunkiympäristössä. [68]

— Ligniiniä sisältävän asfalttiadditiivimarkkinan ennustetaan nousevan noin 1,28 miljardiin USD vuoteen 2033 mennessä yli 13 prosentin vuosittaisella kasvuvauhdilla (CAGR 13.2%). [69]

teknologinen 7



Biohajoava elektroniikka

Elektroniikkateollisuus on siirtymässä kohti ajattelua, jossa laitteet suunnitellaan hajoamaan luonnostaan elinkaarensa lopussa. Perinteiset, myrkylliset ja vaikeasti kierrätettävät piirilevyt ja komponentit korvataan puupohjaisilla materiaaleilla, kuten nanoselluloosalla ja ligniinillä. Nämä materiaalit toimivat joustavina alustoina ja sähköisesti aktiivisina osina sensoreissa, jotka suorittavat tehtävänsä esimerkiksi lääketieteessä, maataloudessa tai pakkausteollisuudessa, ja muuttuvat sen jälkeen haitattomiksi orgaanisiksi ainesosiksi. Kehitys on keskeinen vastaus globaaliin elektroniikkajäteongelmaan ja mahdollistaa älykkyyden integroimisen kohteisiin, joissa elektroniikan kerääminen takaisin on mahdotonta.

ESIMERKKI / NIELTÄVÄ SENSORI

Belgialainen tutkimusorganisaatio Imec on esitellyt pillerin muotoisen nieltävän sensoriprototyypin, joka on kolme kertaa pienempi kuin nykyiset kapseliendoskoopit. Laite on maailman ensimmäinen nieltävä sensori, joka mittaa redox-tasapainoa, mikä mahdollistaa oksidatiivisen stressin ja tulehdustilojen tunnistamisen suoraan suolistosta. 2,1 cm pitkä kapseli mittaa myös pH:ta ja lämpötilaa ja lähettää tiedon langattomasti ulkoiseen vastaanottimeen. Vaikka laite hyödyntää vielä miniatyrisoituja mikrosiruja ja paristoja, Imecin kehitystyö suuntautuu kohti bioyhteensopivia ja lopulta hajoavia materiaaleja, jotka mahdollistavat elektroniikan turvallisen poistumisen tai imeytymisen elimistöön. [70]

Älykäs ja autonominen arvoverkko

Älykäs ja autonominen arvoverkko yhdistää metsän, tehtaat, logistiikan ja asiakkaat reaaliaikaisesti ohjautuvaksi kokonaisuudeksi. Materiaalin mukana kulkeva data tekee arvon näkyväksi ja ohjaa päätöksiä ennakkoivasti: mitä kasvatetaan, mitä jalostetaan ja minne se ohjataan. Arvoverkko ei enää reagoi muutoksiin, vaan ennakoi niitä ja optimoi toimintansa jatkuvasti.

Kilpailukyky syntyy kyvystä yhdistää metsäosaaminen, data ja automaatio yhdeksi toimivaksi järjestelmäksi. Suomi voi rakentaa luotettavan, avoimen ja kyberturvallisen arvoverkon, joka houkuttelee kumppaneita ja synnyttää uutta liiketoimintaa. Tämä visio kutsuu toimimaan nyt: rakentamaan yhteiset pelisäännöt datalle, kehittämään digitaaliset kaksoset ja viemään automaation kentältä markkinoille asti.



Vision keskeiset ratkaisalueet

- * Läpinäkyvyys tekee kokonaisjäljitettävyydestä ja -arvosta vertailtavaa koko arvoverkossa. Materiaalin mukana kulkeva tieto yhdistää alkuperän, laadun, vaikutukset, toimituskyvyn ja kiertoon liittyvän arvon yhteiseksi näkymäksi, joka tukee sekä operatiivista ohjausta että asiakasarvon muodostumista. Digitaalinen "hintalappu" kertoo enemmän kuin hinnan. Se tekee arvon näkyväksi koko elinkaaren ajalta ja seuraavassa kierrossa.
- * Metsänhoitoa, tuotantoa, investointeja ja materiaalivirtoja testataan virtuaalisesti ennen fyysisiä toimia. Toisiinsa linkitetyt digitaalisten kaksosten verkostot kattavat koko arvoverkon metsästä asiakkaaseen tehden päätöksistä ennakkoivia ja yhteensovitet-
tuja: arvoverkko reagoi ajoissa kysynnän, raaka-aineen, energian ja sääolosuhteiden muutoksiin.
- * Metsänhoito, korjuu, tuotanto ja logistiikka toimivat robotiikan, itseohjautuvien koneiden ja automatisoitujen prosessien varassa. Automaatio parantaa kustannustehokkuutta, laatua ja toimitusvarmuutta, ja autonomiset järjestelmät vievät datan käytäntöön. Joustavat energiatehokkaat järjestelmät kytkevät energian, kaluston ja tuotannon
- yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi, joka mukautuu vaihtuviin tilanteisiin ja toimii myös häiriöissä.
- * Yhteinen tietoinfrastruktura erottaa pohjoismaisen arvoverkon suljetuista alustoista. Standardit, kyberturva ja datan oikeellisuus rakentavat luottamusta ja varmistavat, että ala toimii itse arkkitehtina sille, miten dataa käytetään ja miten arvo jakautuu.
- * Älykäs ja autonominen arvoverkko rakentaa dataliiketoimintaa, joka kytkee toimijat entistä tiiviimmin asiakkaisiin ja näiden tarpeisiin. Reaaliaikainen ja ennakkoiva tieto materiaalien käytöstä, suorituskyvystä ja vaikutuksista mahdollistaa jatkuvan vuorovaikutuksen asiakkaiden kanssa sekä palvelut, jotka ulottuvat toimituksista asiakkaiden omiin prosesseihin asti.

Älykäs ja autonominen arvoverkko

○ Mitä visio erityisesti haastaa pohtimaan?

Entä jos tulevaisuuden arvokkain metsävara ei ole puu vaan siihen liittyvä data?

✓ Mitä vision toteutuminen edellyttää?

Yhteisiä painopisteitä, joiden avulla voidaan rakentaa tulevaisuuden kilpailukykyä, resilienssiä ja uudistumiskykyä. →

✓ Mitä voimme visiolla saavuttaa?

Data luo uutta liiketoimintaa, terävöittää asiakasymmärrystä ja mahdollistaa resurssien optimaalisen käytön koko arvoketjussa – kannattavuus, ketteryys ja vastuullisuus vahvistuvat.

✓ Miksi toimia juuri nyt?

2027

Ensimmäiset pakolliset digitaaliset tuotepassit tulevat voimaan EU-markkinoilla. [71]

89%

Yrityksistä hyödyntää tekoälyä vähintään yhdessä liiketoimintatoiminnossa. [72]

1,9 miljoonaa USD

Keskimääräinen kustannussäästö tietomurtoa kohden organisaatioissa, jotka hyödyntävät tietoturvan automaatiota ja tekoälyä laajasti. [73]

Rakenna luotettava tietoinfrastruktuuuri

- Luodaan yhteiset standardit metsätiedolle, digitaalisille tuotepasseille ja materiaalien digitaalisille "hintalapuille".
- Ratkaistaan datan omistajuuden, käyttöoikeuksien ja arvonjaon pelisäännöt koko arvoketjussa.
- Kehitetään turvallisia data-alustoja, jotka yhdistävät metsäosamisen, laskennallisen optimoinnin ja kyberturvallisuuden.
- Varmistetaan datan laatu, yhteentoimivuus ja jäljitettävyyksi läpi arvoketjun.
- Rakennetaan luottamusta avoimilla toimintamalleilla, riippumattomalla tutkimuksella ja yhteisillä pelisäännöillä.

Ota käyttöön ennakoiva ja autonominen ohjaus

- Panostetaan metsävarojen, luontoarvojen, maaperän, vesitalouden ja logistiikan reaaliaikaiseen digitalisointiin.
- Kehitetään digitaalisia kaksosia metsistä, tuotannosta ja toimitusketjuista päätöksenteon tueksi.
- Hyödynnetään tekoälyä ja automaatiota arvoketjun optimoinnissa metsästä asiakkaalle asti.
- Rakennetaan Suomeen kyvykkyyksiä globaalien metsävarantojen etäohjaukseen ja hallintaan.
- Kytetään energia, logistiikka ja tuotantojärjestelmät osaksi yhteistä reaaliaikaista ohjausta.

Luo uutta arvoa datasta

- Rakennetaan uusia dataperusteisia palveluja metsänomistajille, teollisuudelle ja asiakkaille.
- Yhdistetään metsädata muihin toimialoihin ja arvoketjuihin sekä laajennetaan biotaloutta kohti biodatatalloutta.
- Mahdollistetaan reaaliaikainen arvon, kustannusten ja vaikutusten näkyvyys koko verkostossa.
- Kehitetään vientikelpoisia ratkaisuja datan hallintaan, optimointiin ja luotettavaan jakamiseen.
- Varmistetaan, että datatalous luo arvoa koko metsäelinkeinolle ja mahdollistaa myös pienempien toimijoiden osallistumisen.

Älykäs ja autonominen arvoverkko

Signaalit ↗

Metsäekosysteemien reaaliaikaseuranta	ympäristöllinen	●
Tekoälyoptimoitu ilmastokestävyys →	ympäristöllinen	●
Dataohjattu maaperänhallinta →	ympäristöllinen	●
Autonominen tehdasoptimointi →	teknologinen	●
Digitaalinen kemia →	teknologinen	●
Teollinen etäoperointi	teknologinen	●
Tuholaisten täsmävalvonta	teknologinen	●
Parvirobotiikka	teknologinen	○
Regeneratiivisuudesta rahoitusvaade	taloudellinen	●
Suoritepalvelu →	taloudellinen	●
Algoritminen puukauppa	taloudellinen	○
Itseohjautuva puuvirta	taloudellinen	○
Älykäs pakkaus data-alustana	taloudellinen	○
Kaupan läpinäkyvyysvaatimus	polittinen	●
Kansalaispohjainen metsäseuranta	sosiaalinen	●
Metsätyön pelillistäminen	sosiaalinen	●

taloudellinen ↗

Suoritepalvelu

Materiaalien ja kemikaalien myynti siirtyy suoriteperusteiseen palvelumalliin, jossa asiakas maksaa tuotteen tuottamasta hyödystä eikä käytetystä määrästä. Maksuperuste voi olla esimerkiksi puhdistettu pinta-ala, saavutettu sidoslujuus, suojattu käyttöaika tai säästetty materiaalmäärä. Toimittaja säilyttää aineen tai pakkauksen omistuksen, vastaa sen oikeasta käytöstä ja järjestää talteenoton, uudistamisen ja seuraavan käyttökierron. Malli kannustaa vähentämään kulutusta ja suunnittelemaan tuotteet pitkäikäisiksi. Metsäalalla se voi laajentaa materiaalityyppiä elinkaaren hallinnan palveluiksi. Kehitystä hidastavat suorituskyvyn mittaaminen, vastuiden jakaminen, pitkät sopimukset ja asiakkaiden haluttomuus luopua omistamisesta.

ESIMERKKI / PAKKAUS PALVELUNA

Stora Enso on tuonut markkinoille Beyond Board -palvelukonseptin, joka täydentää kartonkipohjaisia pakkausratkaisuja palveluilla, kuten pakkaussuunnittelulla, elinkaarianalyseilla, pakkausautomaatiolla ja kierrätykseen liittyvällä tuella. Konsepti yhdistää materiaalin ja siihen liittyvät palvelut osaksi laajempaa asiakasratkaisua. [74]

— Globaalin kemikaalit ja materiaalit palveluna (CaaS) -markkinan arvioidaan kasvavan 11,1 miljardista dollarista (2025) yli 22,0 miljardiin dollariin vuoteen 2034 mennessä (CAGR 7,9 %). [75]

ympäristöllinen ↗

Dataohjattu maaperänhallinta

Metsätaloudessa maaperästä tulee aktiivisesti hallittu tuotannollinen ja ekologinen resurssi. Metsätalouden operatiivinen suunnittelu perustuu tulevaisuudessa dynaamiseen neljäulotteiseen mallinnukseen. Kaukokartoitus ja reaaliaikainen sensoridata määrittelevät korjuualueet sekä reitit. Tekoälypohjainen terramekaniikka ja tarkat hydrologiset ennustemallit muokkaavat leimikon rajoja jatkuvasti vallitsevien sääolosuhteiden mukaan. Teknologia mahdollistaa automaattisen vesien-suojelun ja maaperän kestävyysoptimoinnin työkohteiden liikkumassa maastossa.

ESIMERKKI / BIOHAJOAVAT LIITOANTURIT

Sveitsiläisen Empan tutkijat ovat kehittäneet perunatärkkelyksestä ja puujätteestä valmistettuja biohajoavia liitoantureita, joita voidaan levittää maastoon droonilla. Anturit mittaavat esimerkiksi maaperän kosteutta ja happamuutta ja hajoavat käytön jälkeen osaksi ympäristöä. Maaperän seurantaan syntyy väliaikaisia ja vähäjäitteisiä mittausratkaisuja. [76]

— Globaalin täsmämetsätalouden markkinan (sisältäen reaaliaikaisen sensoridatan, tekoälypohjaisen maaperän kantavuusmallinnuksen ja automaattisen korjuusuunnittelun) arvioidaan olevan noin 1,05 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 2,45 miljardiin dollariin vuoteen 2035 mennessä (CAGR 9,9 %). [77]

Älykäs ja autonominen arvoverkko

teknologinen



Autonominen tehdasoptimointi

Tuotantolaitokset ovat siirtyneet reaaliaikaiseen, data- ja algoritmi-ohjattuun päätöksentekoon, jossa tekoäly, koneoppiminen, digitaaliset kaksoset ja IoT-anturit yhdistyvät antamaan tuotantolinjoille kyvyn ennustaa pullonkauloja, kohdentaa resursseja ja säätää prosesseja automaattisesti ilman jatkuvaa ihmisen väliintuloa. Muutos mahdollistaa tehokkuuden parantamisen, häiriöiden minimoinnin, laadunvalvonnan automatisoinnin ja joustavamman reagoinnin kysynnän vaihteluihin, mikä vaikuttaa kilpailukykyyn ja tuotanto-arvon maksimointiin yhä monimutkaisemmissa markkinaolosuhteissa.

ESIMERKKI / TEKÖÄLYINTEGROITU TEHDAS

Hyundain Metaplant America -tehdas Yhdysvalloissa on rakennettu alusta alkaen tekoälyohjattujen järjestelmien, robotiikan ja digitaalisten kaksosten ympärille. Tehdas käyttää reaaliaikaista sensoridataa ja tekoälymallinnusta optimoidakseen tuotantoprosesseja, havaitakseen virheitä ja vähentääkseen jätteitä. Keskitetty digitaalinen kaksonen analysoi koko tuotantolinjaa, mikä mahdollistaa nopean päätöksenteon ja joustavan resurssien allokoinnin muuttuvissa markkinaolosuhteissa. [78]

— Globaalin teollisuuden digitaalisten kaksosten markkinan (sisältäen tehdas- ja prosessitason virtuaalisen mallinnuksen, ennakoinnin huollon ja reaaliaikaisen anturiseurannan) arvioidaan olevan noin 38,3 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 140–180 miljardiin dollariin vuoteen 2032 mennessä (CAGR ~38–42 %). [79]

teknologinen



Digitaalinen kemia

Materiaalien ja kemikaalien kehitys siirtyy osin laskennallisiin ympäristöihin, joissa tekoälymallit, suurteho-laskenta ja myöhemmin kvanttilaskenta arvioivat suuria määriä molekyylejä ja valmistusreittejä. Mallit voivat ennustaa esimerkiksi ligniinin, selluloosan ja muiden biomolekyylien reaktiivisuutta, liukoisuutta, lujuutta ja yhteensopivuutta ennen fyysisiä kokeita. Generatiivinen suunnittelu etsii tavoiteltuihin ominaisuuksiin sopivia rakenteita ja kohdistaa laboratoriotyön lupaavimpiin vaihtoehtoihin. Kehitys lyhentää tuotekehitystä ja avaa biopohjaisille raaka-aineille uusia sovelluksia.

ESIMERKKI / TEKÖÄLY MATERIAALIKEHITYKSESSÄ

VTT kehittää biopohjaisia materiaaleja hyödyntämällä mikrobeja ja tekoälyä. Tekoälyä käytetään materiaalien ominaisuuksien ennustamiseen, bioprosessien parantamiseen ja lupaavien ratkaisujen tunnistamiseen ennen laajaa laboratoriotyötä. Digitaaliset menetelmät nopeuttavat puu- ja biomolekyyliin perustavien materiaalien tuotekehitystä. [80]

— Tekoälypohjaisen materiaalikehityksen ja digitaalisen kemian arvioidaan lyhentävän uusien molekyylien ja biomateriaalien tuotekehityssykliä jopa 50–70 prosenttia ja leikkaavan kokeellisen laboratoriotoiminnan R&D-kustannuksia 30–50 prosenttia. [81]

ympäristöllinen



Tekoälyoptimoitu ilmastokestävyys

Metsätaloudessa hyödynnetään koneoppimista ja laajoja tietoaaineistoja metsien terveyden seurantaan sekä ilmatoriskien hallintaan. Tekoälymallit yhdistävät kaukokartoitusdataa, sääennusteita ja maastohavaintoja metsätuhojen ennakointiin sekä hiilitaseen laskentaan. Järjestelmät tunnistavat kuivuudesta tai hyönteistuhouta kärsiviä alueita jo ennen näkyviä vaurioita. Teknologia mahdollistaa metsänhoidon optimoinnin paikallisten olosuhteiden ja muuttuvan ilmaston mukaan, mikä tukee puuston säilymistä elinvoimaisena.

ESIMERKKI / METSIEN DIGITAALINEN KAKSONEN

VTT ja Euroopan avaruusjärjestö (ESA) kehittävät osana Euroopan unionin Destination Earth -ohjelmaa metsien digitaalista kaksosta. Vuonna 2025 testattava järjestelmä yhdistää satelliittihavainnot ja fyysiset metsämallit konesaliympäristöön. Järjestelmä simuloi metsien hiilen ja veden kiertoa sekä puuston kehitystä erilaisissa lämpötila- ja hoitoskenaarioissa. Mallinnus tarjoaa tietoa muuttujista, joita ei voida havaita suoraan maastosta, kuten säteilytaseesta tai yksityiskohtaisesta metsän rakenteesta. Ensimmäinen toiminnallinen versio otettiin käyttöön vuoden 2025 lopulla. [82]

— Globaalin ilmaston ja ympäristön digitaalisten kaksosten markkinan arvioidaan olevan noin 5,6 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 21,6 miljardiin dollariin vuoteen 2034 mennessä (CAGR 18,2 %). [83]

Resilientti luontopääoma

Resilientti luontopääoma tekee metsistä samanaikaisesti tuottavia, kestäviä ja uudistuvia. Metsä ei ole pelkkä raaka-ainevaranto, vaan järjestelmä, joka sitoo hiiltä, vahvistaa monimuotoisuutta, säätelee vettä ja tuottaa hyvinvointia – samalla kun sen taloudellinen arvo kasvaa. Arvo syntyy kyvystä parantaa metsien tilaa ja todentaa tämä vaikutus luotettavasti.

Suomella on mahdollisuus näyttää, miten taloudellinen menestys ja ekologinen kestävyys rakennetaan yhdeksi kokonaisuudeksi. Tämä visio kutsuu siirtymään ylläpidosta uudistamiseen: kehittämään ratkaisuja, joissa metsien elinvoima kasvaa jokaisessa toimenpiteessä ja joissa luontoarvoista tulee aktiivinen osa liiketoimintaa, rahoitusta ja päätöksentekoa.



Vision keskeiset ratkaisualueet

- * Suomi toimii EU:n kokeilulaboratoriona liiketoiminnaltaan kestäväälle ja uudistavalle toimintamallille, jossa uusia metsänhoidon, ennallistamisen ja arvонуonin ratkaisuja testataan eri olosuhteissa ja skaalataan kansainvälisille markkinoille. Kokeilut, mitaaminen, tutkimus ja uudet toimintamallit muodostavat TKI-palvelun, joka yhdistää käytännön tekemisen ja globaalin liiketoiminnan kehittämisen.
- * Luontopääoman vaikuttavuusarviointi nousee metsäelinkeinon kehityksen ytimeen: biodiversiteetti, vesitalous, maaperän kunto, virkistys ja hyvinvointi muuttuvat mitattaviksi ja todennettaviksi vaikutuksiksi. Yhtenäinen arviointimalli ohjaa päätöksentekoa, mahdollistaa vaikutusten todentamisen ja rakentaa perustan uusille arvolupa-uksille ja rahoitusratkaisuille.
- * Ekosysteemipalvelut ja palvelualustat tuot- teistetaan osaksi liiketoimintaa, jossa hiili, biodiversiteetti, vesitalous, maisema ja ter- veysvaikutukset muuttuvat standardoiduiksi ja sopimuksellisesti hallittaviksi hyödyiksi. Metsänomistajat, yritykset ja alueet saavat uusia tulovirtoja, kun ekologinen tila tuottaa näkyvää ja mitattua arvoa.
- * Ilmastokestävä metsä ja siihen kehitetyt metsänhoito- ja riskienhallintamallit vah- vistavat metsien elinvoimaa, monimuotoi- suutta ja sopeutumiskykyä muuttuvissa kasvuolosuhteissa. Sääshokit, tuholaiset ja metsäpalot hallitaan ennakoivasti yh- distämällä monipuoliset puulajivalinnat ja skenaarioperusteinen suunnittelu operatiivi- seen päätöksentekoon.
- * Regeneratiivinen toimintamalli, metsänhoito ja arvонуonti yhdistävät puuntuotannon, luontoarvot, hyvinvoinnin ja hyväksyttävyy- den samaan arvонуontiin. Metsän käyttö, suojelu, uudistaminen ja korkean jalostus- arvon tuotteet rakentuvat kokonaisuudek- si, joka ennallistamisen sijaan parantaa entisestään ja samanaikaisesti ekologiaa, taloudellista tuottavuutta ja yhteiskunnallis- ta merkitystä.

Resilientti luontopääoma

Mitä visio erityisesti haastaa pohtimaan?

Entä jos metsän arvokkain tuote tulevaisuudessa on sen tuottama vaikutus, ei siitä korjattu raaka-aine?

Mitä vision toteutuminen edellyttää?

Yhteisiä painopisteitä, joiden avulla voidaan rakentaa tulevaisuuden kilpailukykyä, resilienssiä ja uudistumiskykyä. →

Mitä voimme visiolla saavuttaa?

Uutta kasvua luontopääomasta, uusia tulovirtoja ekosysteemipalveluista sekä kilpailuetua, joka perustuu todennettaviin myönteisiin vaikutuksiin ilmastolle, luonnolle ja yhteiskunnalle.

Miksi toimia juuri nyt?

58 000 miljardia USD = 55% maailman BKT:stä on kohtalaisesti tai voimakkaasti riippuvainen luonnosta ja sen tuottamista palveluista. [84]

10 100 miljardia USD / vuosi

luontopositiivisen talouden arvioitu globaali liiketoimintapotentiaali vuoteen 2030 mennessä. [85]

20 % EU:n maa- ja merialueista on ennallistettava vuoteen 2030 mennessä osana EU:n ennallistamisasetusta. [86]

Tee luontopääomasta mitattavaa ja todennettavaa

- Kehitetään yhtenäisiä menetelmiä biodiversiteetin, hiilen, vesitalouden, maaperän kunnon ja hyvinvointivaikutusten mittaamiseen.
- Rakennetaan yhteisiä vaikutavuusmittareita, jotka tukevat päätöksentekoa, rahoitusta ja markkinoiden syntymistä.
- Hyödynnetään tutkimusta, digitaalisia ratkaisuja ja seurantaa luontovaikutusten todentamisessa.
- Luodaan luotettavia käytäntöjä, joiden avulla eri toimijat voivat vertailla, raportoida ja kehittää vaikutuksiaan.
- Vahvistetaan Suomen asemaa luontovaikutusten arvioinnin ja todentamisen kansainvälisenä edelläkävijänä.

Luo uutta liiketoimintaa luontoarvoista

- Kehitetään ekosysteemipalveluihin perustuvia tuotteita, markkinoita ja ansaintamalleja.
- Rakennetaan toimintatapoja, joissa hiili-, biodiversiteetti-, vesistö- ja hyvinvointivaikutukset tuottavat taloudellista arvoa.
- Tuotteistetaan uusia ratkaisuja metsänomistajille, yrityksille ja julkisille toimijoille.
- Vahvistetaan rahoitus- ja kannustemalleja, jotka palkitsevat luonnon tilan parantamisesta.
- Kehitetään palvelualustoja, joiden avulla luontoarvot voidaan liittää osaksi kansainvälisiä arvoketjuja ja markkinoita.

Uudista metsien käyttöä kokeilujen ja resilienssin kautta

- Kehitetään edelleen ilmasto-kestävämpiä metsänhoitomalleja, jotka vahvistavat metsien elinvoimaa, monimuotoisuutta ja sopeutumiskykyä.
- Rakennetaan kokeilu ympäristöjä uusille metsänhoidon, ennallistamisen ja luonnonhoidon ratkaisuille.
- Hyödynnetään tutkimuksen, yritysten ja käytännön toimijoiden yhteistyötä ratkaisujen nopeaan kehittämiseen ja skaalaamiseen.
- Vahvistetaan metsien kykyä kestää sääilmiöitä, tuholaisia ja muita tulevaisuuden häiriöitä.
- Tehdään regeneratiivisesta toimintatavasta kilpailuetu, jossa taloudellinen, ekologinen ja yhteiskunnallinen arvo vahvistavat toisiaan.

Resilientti luontopääoma

Signaalit ↗

Metsäekosysteemien reaaliaikaseuranta	ympäristöllinen	●
Tekoälyoptimoitu ilmastokestävyys	ympäristöllinen	●
Digitaalinen luontotase	→ ympäristöllinen	◎
Metsän mikrobiomin ohjaus	ympäristöllinen	○
Tuholaisten täsmävalvonta	teknologinen	◎
Metsä palveluna	taloudellinen	●
Biodiversiteettikrediitti	taloudellinen	◎
Luontotuloksen hinnoittelu	taloudellinen	◎
Negatiiviset päästöt palveluna	taloudellinen	◎
Regeneratiivisuudesta rahoitusvaade	→ taloudellinen	◎
CO2-talteenottohubit	polittinen	◎
Luonto oikeushenkilönä	polittinen	○
Kuluttamaton sukupolvi	sosiaalinen	●
Kansalaispohjainen metsäseuranta	→ sosiaalinen	◎
Kaupunkiluonnon arvottaminen	→ sosiaalinen	◎
Parantava metsä	→ sosiaalinen	○

taloudellinen



Regeneratiivisuudesta rahoitusvaade

Rahoitusmarkkinoiden sääntely ja sijoittajien kriteeristöt painottuvat perinteisestä haittojen minimoinnista ekosysteemien tilan aktiiviseen parantamiseen. Poliittinen ohjaus, kuten EU:n ennallistamisasetus ja yritysvastuudirektiivi (CSDDD), velvoittaa yrityksiä osoittamaan toimintansa positiiviset vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin. Rahoituksen saanti ja hinta kytketään mitattaviin regeneratiivisiin tavoitteisiin, mikä tekee luonnon tilan vahvistamisesta markkinoille pääsyn ja investointien edellytyksen.

ESIMERKKI / LUONNONPÄÄOMASIJOTUSMALLI

Apple on perustanut Restore Fund -rahaston, joka sijoittaa hankkeisiin, joissa yhdistyvät kaupallinen metsätalous ja luonnon ekosysteemien ennallistaminen. Sijoitusmalli perustuu luonnonpääoman kasvattamiseen, mikä edellyttää hiilen poiston ohella mitattavia parannuksia biodiversiteetissä. Sijoituskohteilta vaaditaan tiukkaa seuranta, jossa hyödynnetään muun muassa satelliittidatata ja kenttämittauksia ekosysteemipalveluiden tilan todentamiseksi. Rahasto raportoi vaikutukset kansainvälisten standardien (kuten TNFD) mukaisesti, jolloin taloudellinen tuotto on suoraan kytketty ekologisen tilan elpymiseen. [87]

— Globaalin luonnonpääoman ja biodiversiteettiluottojen markkinan arvioidaan olevan noin 5,7 miljardia dollaria vuonna 2024 ja kasvavan 48,7 miljardiin dollariin vuoteen 2034 mennessä (CAGR 24,1 %). [88]

sosiaalinen



Kansalaispohjainen metsäseuranta

Metsien tilan seuranta laajenee viranomaisten ja yritysten lisäksi paikallisyhteisöille ja kansalaisille. Mobiilisovellukset, avoimet data-alustat ja paikkatieto mahdollistavat havaintojen keruun sekä satelliittidatan hyödyntämisen. Kehitys lisää läpinäkyvyyttä, nopeuttaa reagoitua metsätuhoihin ja vahvistaa yhteisöjen roolia luonnonvarojen hallinnassa. Samalla se voi lisätä vaatimuksia tiedon laadulle, tulkinnalle ja viralliselle hyväksytävyydelle.

ESIMERKKI / INTERAKTIIVINEN HAVAINNOINTIJÄRJESTELMÄ

Hollantilainen Wageningenin yliopisto on kehittänyt yhdessä Perun paikallisten yhteisöjen kanssa interaktiivisen metsähavainnointijärjestelmän, joka tukee paikallisia metsän muutosten tunnistamisessa ja niiden viestinnässä muille sidosryhmille. Samaa järjestelmää hyödynnetään myös Etiopiassa. [89]

Resilientti luontopääoma

ympäristöllinen



Digitaalinen luontotase

Tekoäly, bioakustiikka, satelliittidata ja digitaaliset kaksoset mahdollistavat luontoarvojen, kuten biodiversiteetin, hiilensidonnan ja ekosysteemien tilan, jatkuvan mittaamisen ja mallintamisen. Aiemmin vaikeasti havaittavat ja laadulliset luontoarvot muunnetaan vertailukelpoiseksi dataksi, jota voidaan auditoida, raportoida ja käyttää päätöksenteon tukena. Digitaalinen luontotase tukee luontopääoman näkyväksi tekemistä taloudellisessa ja sääntelyyn liittyvässä kontekstissa sekä luo pohjaa luontoarvojen hinnoittelulle, kompensatioille ja markkinapohjaisille ohjaukskeinoille.

ESIMERKKI / **BIOAKUSTIIKAA JA TEKÖÄLYÄ**

Jyväskylän yliopiston tutkimuksessa selvitetään, miten metsissä toteutetut toimenpiteet vaikuttavat luonnon monimuotoisuuteen. Lintuja kuunnellaan automaattisella laitteistolla, joka paikantaa laulun ja tuottaa tietoa lajistosta. Tekoälyä hyödynnetään aineiston käsittelyssä, jolloin luonnon tilaa voidaan seurata aiempaa jatkuvammin ja vertailukelpoisemmin. [90]

— Globaalin digitaalisen mittaus-, raportointi- ja varmennusmarkkinan arvioidaan olevan noin 7,2 miljardia dollaria vuonna 2026 ja kasvavan 21,8 miljardiin dollariin vuoteen 2034 mennessä (CAGR 15,0 %). [91]

sosiaalinen



Parantava metsä

Lääketieteellinen ja käyttäytymistieteellinen tutkimus vahvistaa metsien terveys- ja hyvinvointivaikutukset. Metsäympäristöjen kyky lievittää stressiä, tukea mielen terveyttä sekä vahvistaa immuunipuolustusta siirtää metsät perinteisestä virkistyskäytöstä osaksi ennaltaehkäisevää terveydenhuoltoa ja hyvinvointitaloutta. Kehitys mahdollistaa laajamittaiset hyvinvointipalvelut ja matkailukonseptit. Muutos vaikuttaa metsänhoidon tavoitteisiin, jolloin metsien rakenteita, lajistoa ja saavutettavuutta kehitetään tukemaan aistielämyksiä sekä palautumista. Metsästä muodostuu osa kansallista brändiä, jossa hyvinvointi ja tieteellinen uskottavuus mahdollistavat korkean arvonluonnin erityisesti matkailu- ja palvelusektorilla.

ESIMERKKI / **TERVEYSVAIKUTUSTEN MALLINNUS**

Luonnonvarakeskuksen (Luke) toteuttama ja Sitran rahoittama selvitys osoittaa, että luontoympäristöllä on suora ja mitattava vaikutus kansanterveyteen sekä kansantalouteen. Raportissa käytetään terveystaloudellisia malleja osoittamaan, kuinka luontoaltistus vähentää muun muassa astman, tyypin 2 diabeteksen ja mielen-terveysongelmien kustannuksia. Tulokset osoittavat, että luontokosketuksen lisääminen voi säästää miljoonia euroja lääkekustannuksissa ja sairauspoissaoloissa. [92]

sosiaalinen



Kaupunkiluonnon arvottaminen

Kaupunkien viheralueet ja puusto muodostavat yhä keskeisemmän osan kaupunkien taloudellista ja ekologista pääomaa. Kaupunkimetsät hahmotetaan kriittisenä infrastruktuurina, joka tuottaa mitattavia ekosysteemi-palveluita, kuten hulevesien hallintaa, lämpösaareke-ilmion lieventämistä ja asukkaiden terveyshyötyjä. Tämä kehitys kytkee kaupunkiluonnon osaksi luontopääoman tilinpitokäytäntöjä, joissa puuston arvo ja sen tuottamat säästöt viemärointi- ja energiainfrastruktuurissa voidaan raportoida rahamääräisesti. Kehitystä vauhdittaa EU:n ennallistamisasetus, joka kieltää kaupunkivihreän nettohävikin vuoteen 2030 mennessä ja velvoittaa sen määrälliseen kasvuun sen jälkeen.

ESIMERKKI / **VANCOUVERIN KAUPUNKIMETSÄSTRATEGIA**

Vancouverin kaupunki on toukokuussa 2025 hyväksynyt päivitetyn kaupunkimetsästrategian, jossa puusto on integroitu osaksi kaupungin virallista omaisuudenhallinnan kehystä. Puita kohdellaan budjetoinnissa samalla periaatteella kuin teknistä infrastruktuuria, ja niille on määritetty huoltobudjetti, joka perustuu niiden tuottamaan säästöön tulvavahinkojen ja terveysmenojen ehkäisyssä. Tavoitteena on saavuttaa 30 % latvuspeittävyys kaupungin resilienssin vahvistamiseksi. [93]



Luode

Ennakointiprosessi, metodit ja sisältölogiikka



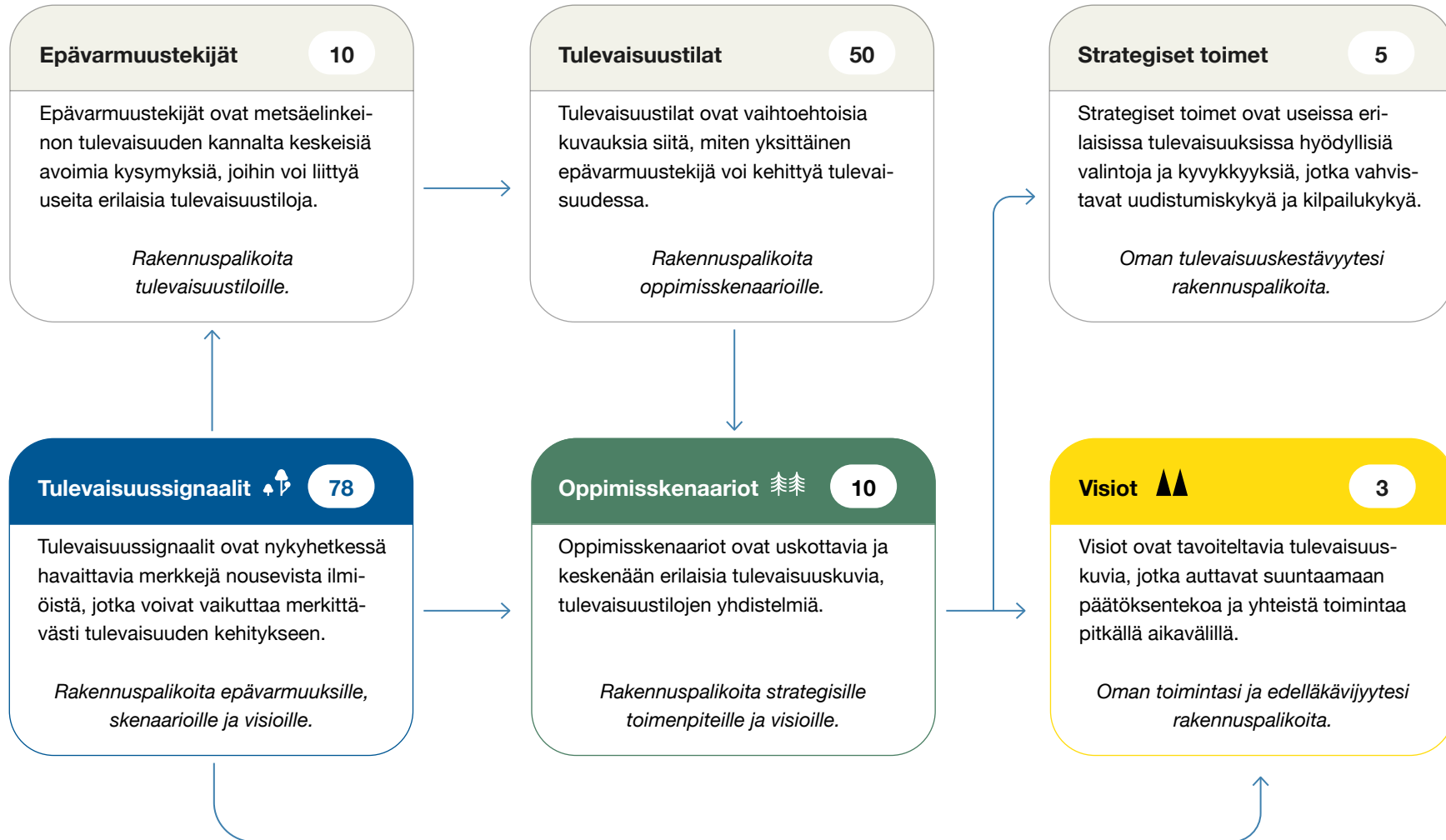
Projektin vaiheet, menetelmät ja aikataulu



vaihe	① Toimintaympäristöön vaikuttavat kehityssuunnat	② Kilpailukyvyyn vaihtoehtoiset kehityspotut	③ Tulevaisuusvisiot toimintaedellytysten vahvistajina	④ Tulevaisuuskompassi käytännön työkaluna
fokus	Millaiset globaalit ja alueelliset kehityssuunnat vaikuttavat metsäelinkeinojen toimintaympäristöön kohti vuotta 2050?	Millaisia vaihtoehtoisia mahdollisia tulevaisuusskenaarioita voidaan tunnistaa metsäelinkeinojen kilpailukyvyille?	Miten metsäelinkeinojen hyväksyttävyyttä ja toimintaedellytyksiä voidaan vahvistaa muutoksissa ja eri tulevaisuuspoluilla?	Miten metsäelinkeinojen eri toimijat voivat löytää tulevaisuuskestäviä strategisia toimenpiteitä jo tänään?
tehtävät ja menetelmät	- Projektin rajaus ja lähtöoletusten tunnistaminen ml. keskeiset megatrendit, odotetut hitaat/nopeat muutokset ja epävarmuudet. - Metsäelinkeinojen kotimaisten ja ulkomaisten toimijoiden ja asiantuntijoiden haastattelut. - DEFT/PESTE-analyysi kokoomaan löydöksiä ja suuntaamaan lisätutkimusta. - Laadullinen horisonttiskannaus ml. globaalit markkina- ja teknologiatietokannat, toimiala- ja ennakointiraportit ja verkkosivut sekä tekoälypohjainen kvantitatiivinen skannaus ml. patenttitietokannat, tieteelliset julkaisut ja uutisdata. 400 tulevaisuussignaalia, joista koottiin VTT Tulevaisuustutkalle 78 signaalia.	- Tulevaisuustaulukon kokoaminen epävarmuustekijöistä ja näihin liittyvien vaihtoehtoisten tulevaisuustilojen tunnistaminen. - Tulevaisuustaulukon testaus toimijoille suunnatun avoimen kyselyn, työpajan ja useita kielimalleja hyödyntävän VTT ScenArios-tekoälytyökalun avulla. - Tulevaisuustilojen konsistenssianalyysi oppimisskenaarioiden rakentamiseksi VTT ScenArios-tekoälytyökalun tuella. - Oppimisskenaarioiden rikastaminen työpajoissa ja kaikille avoimessa digitaalisessa tulevaisuusnäyttelyssä (Miro), joiden avulla tunnistettiin laajasti eri toimijoiden näkökulmista mahdollisuuksia, uhkia ja "Entä jos"-kysymyksiä.	- Vaiheen 2 pohjalta tunnistettiin haluttuja tulevaisuuksia, joilla on systeminen positiivinen vaikutavuus ja jotka antavat vastauksia tunnistettuihin mahdollisuuksiin ja uhkiin. - Visiokohtaisia ratkaisuja konkrctisoiitiin oppimisskenaarioiden ja signaalien pohjalta sekä rikastettiin työpajojen ja tulevaisuusnäyttelyn osallistujien avulla. - Oppimisskenaarioita tarkasteltiin rinnakkain, jotta tunnistettiin monia tulevaisuuksia riippumatta siitä, mikä tulevaisuus toteutuu.	- Horisonttiskannaus: Tulevaisuustutkkan ja signaalien päivitys. - Tekoäly (Copilot, ChatGPT, Gemini) hyödynnettiin raportissa asiantuntijatyön tukena aineiston tiivistämisessä, teemojen tunnistamisessa, tulosten synteessissä, johdonmuokaisuuden tarkistuksessa sekä skenaario- ja visiokuvien tuottamisessa. Kaikki analyysit, tulokset ja johtopäätökset ovat projektitiimin laatimia ja validoimia. - Projektin pää- ja välituotosten muotoilu navigoitavaksi dokumentiksi, kompassiksi, jota voidaan lukea projektia kronologisesti seuraten, valikoituihin sisältöihin keskittyen ja dokumentin sisällä helposti liikkuen.

Elokuu, 2025 → Maaliskuu, 2026 → Huhtikuu, 2026 → Kesäkuu, 2026 → Elokuu, 2026

Miten aineistosta rakennettiin tulevaisuuskuvia?



Projekti ja tekijät

Tulevaisuuskompassi on Tulevaisuuden metsäelinkeino 2045 – Ennakointia kestävään kilpailukykyyn ja uuteen arvonluontiin – projektin loppuraportti.

Projektissa tarkasteltiin pitkän aikavälin tulevaisuuksia yleisellä tasolla ja koko metsäelinkeino arvoketjun laajuudelta. Tarkastelu ulottui metsänhoidosta ja hakkuista mekaaniseen ja kemialliseen bioprosessointiin sekä puuperäisten raaka-aineiden ja puolivalmisteiden jalostamiseen lopputuotteiksi ja palveluiksi.

Osallistava ennakointi

Ennakointityöhön osallistui metsäelinkeino eri toimijoita työpajoissa, kyselyssä ja tulevaisuusnäyttelyssä. Työskentely rikastutti oppimisskenaarioita ja visioita, auttoi testaamaan Tulevaisuuskompassin osioita sekä tunnistamaan aineiston mahdollisia käyttäjiä.

Raportin sitaatit ovat poimintoja työpajoista, kyselystä ja tulevaisuusnäyttelystä.

Työn rajaus

Työskentelyssä keskityttiin yleisiin pitkän aikavälin kehityskulkuihin. Yritysten tulevaan kilpailukäyttäytymiseen liittyvät ja niiden toiminnan kannalta luottamukselliset aiheet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Kiitos

Kiitämme Antti-Jussi Tahvanaista projektin ideasta, joka kokosi metsäalan toimijoita tulevaisuuksien ääreen, ja Suomen Metsäsäätiötä, joka rohkeasti tarttui ideaan ja rahoitti projektin.

Lämmin kiitos ohjausryhmälle hyvästä projektin rauhasta ja aktiivisesta ohjaamisesta projektin aikana! Projektin ohjausryhmässä toimivat: Martta Fredrikson (Suomen Metsäsäätiö), Kalle Karttunen (MTK), Matti Mäkelä (Koneyrittäjät), Teemu Seppä (Metsähallitus), Tomi Simola (UPM), Antti Suvinen (Stora Enso), Jimi Rajajärvi (Sahateollisuus), Niklas von Weymarn (Metsä Group), ja Antti-Jussi Tahvanainen (VTT).

Kiitämme lämpimästi kaikkia yhteiseen ennakointiin osallistuneita näkemyksistä, keskusteluista ja Tulevaisuuskompassin osioiden testaamisesta. Lisäksi kiitämme kotimaisia ja kansainvälisiä asiantuntijoita rajausvaiheen haastatteluista.

Toteutimme projektin yhdessä VTT:n strategisen ennakoinnin tiimin ja eri tutkimusalueiden tutkijoiden kanssa. Kiitos jälleen kaikille kollegoille. Erityiskiitos Juuli Huuhanmäelle, joka kokosi ja kirjoitti horisonttiskannauksen signaalikirjastoa aina laadukkaalla ja analyyttisellä otteellaan.

Tulevaisuuskompassi: Miten luodaan menestyvä metsäelinkeino 2050?

Tulevaisuuskompassin kokosivat
Tiina Apilo ja Anu Nousiainen

Projektin rahoittajat
Suomen Metsäsäätiö (päärahoittaja) & VTT

VTT projektiryhmä
Antti-Jussi Tahvanainen, Tiina Apilo,
Anu Nousiainen, Juuli Huuhanmäki, Arto Wallin,
Carolyn Cole, Pauli Komonen

Graafinen suunnittelu ja taitto
Ada Peiretti

Loppuviitteet

[1] Tamara Carleton & William Cockayne. 2023. Building Moonshots: 50+ Ways to Turn Radical Ideas Into Reality. Wiley.

[2] Tulevaisuustutkan (Future Radar) käytöstä lisää VTT, 2024. Case: Kemianteollisuus ry – Kestäviä liiketoimintamahdollisuuksia kemianteollisuudelle

[3] Lue lisää strategisen ennakkoinnin toteuttamisesta organisaatiotasolla Tahvanainen & Apilo (toim.), 2024. Guidebook for organising corporate foresight. VTT.

[4] Valmet. Performance Center.

[5] Grand View Research, 2024. Remote Monitoring And Control Market (2025 - 2030).

[6] Phuong Thao & Duc, 2025. Timber price forecasting in Vietnam using graph neural network and LSTM method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science.

[7] UNECE, 2022. Forest sector outlook study 2020-2040.

[8] European Forest Institute, 2026. Forest damage in Europe could double by 2100, major study warns.

[9] Collective Crunch. AI-powered forest inventories.

[10] Research and Markets, 2026. Smart forest market report 2026.

[11] Luke, 2026. Tekoäly ja robotiikka mullistavat

metsäpuiden taimituotannon – Tutkijoiden perustama Lauka Biotech tuo alkiomonistuksen teolliseen mittakaavaan.

[12] Lue lisää mikrobiomin muokkauksesta Allsup et al., 2023. Shifting microbial communities can enhance tree tolerance to changing climates. Science.

[13] The Guardian, 2026. ‘Hybrid organ’: how a union of trees and fungi could revolutionise forest management.

[14] Research and Markets, 2026. Mycorrhiza - Market Share Analysis, Industry Trends & Statistics, Growth Forecasts (2025 - 2030).

[15] EU Commission, 2025. Commission presents new Bioeconomy Strategy to drive green growth, competitiveness and resilience across Europe.

[16] Critical Medicines Alliance, 2025. Strategic report of the critical medicines alliance.

[17] Timber online, 2025. Stormy forest balance: 1.5 million m³ of damaged wood in 2024.

[18] EIOPA, 2025. Report on biodiversity risk management by insurers.

[19] Data Intelo. 2026. Forestry insurance market.

[20] Lisää tietoa hiilirajamekanismista EU Commission. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) ja metsäkatoasetuksesta EU Commission. Implementing the EU Deforestation Regulation (EUDR)

[21] Financial Times, 2025. EU set to reject Indian demand for carbon border tax exemption; Financial Times, 2025. Indonesia says EU deforestation law is still unworkable.

[22] World Resources Institutes, 2024. Can ‘Biodiversity credits’ boost conservation?

[23] Data Next Research, 2026. Biodiversity Credits Market (2026-2036)

[24] Gilbert et al., 2023. Understanding the Rights of Nature: Working Together Across and Beyond Disciplines. Human Ecology, 51, 363–377.

[25] HS, 2024. Suomeen tulee uudenlainen lakitoimisto, jonka tavoitteena on luoda yrityksille “pelote”.

[26] Lisää EU:n pakkausjäteasetuksesta EU Commission. Packaging waste. EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management.

[27] UPM, 2025. UPM and Royal Vaassen have developed a fibre-based alternative to plastic and aluminum packaging solutions.

[28] Gasworld, 2025. 10MW green hydrogen plant planned at Canadian pulp mill.

[29] Grand View Research, 2025. Green hydrogen market (2026 - 2033).

[30] VTT, 2025. Unlocking the full potential of composite chemical recycling.

- [31] Grand View Research, 2025. Biocomposites Market (2026 - 2033).
- [32] Lisää puupohjaisista proteiineista Verma et al., 2025. Precision fermentation for the next generation of food ingredients: Opportunities and challenges. Future Foods, 12, 100750. ja Abik et al., 2023. Potential of Wood Hemicelluloses and Their Derivates as Food Ingredients. Agricultural and food chemistry, 71(6).
- [33] Arbiom. Yeast beyond proteins.
- [34] Market Secipher, 2026. 2026 Protein Market Report: Whey Supply Crisis, FMCG-Led Growth Surge, and Ingredient Import Disruptions Reshape the \$133 Billion Industry.
- [35] MIT, 2022. Toward customizable timber, grown in a lab.
- [36] Lisää fotonisesta puusta Mariani & Malucelli, 2021. Transparent Wood-Based Materials: Current State-of-the-Art and Future Perspectives. Materials, 15(24), 9069 ja Zhao et al., 2025. Photonic crystals on wood surfaces: tunable structural colors exhibiting iridescent effects and stimulus responsivity. Wood Science and Technology, 59,105.
- [37] Parametric Architecture, 2025. Sweden develops transparent wood stronger than glass.
- [38] Artek, 2026. Artek purchases Finnish forest to protect biodiversity and secure future birch supply; Artek. Artek and the Forest.
- [39] Ingka. We continue to invest in responsibly managed forestland.
- [40] Lisää digitaalisesta tuotepassista EU, 2024. EU's Digital Product Passport: Advancing transparency and sustainability. Damaševičius & Maskeliūnas, 2025. Blockchain-enabled smart contracts for secure and transparent timber traceability. Journal of Industrial Information Integration, 48, 100934.
- [41] Labelmaterials, 2025. UPM Raflatac becomes first labeling business to offer product footprints in customer quotes.
- [42] Grand View Research, 2026. Digital Product Passport Market (2026 - 2033).
- [43] Metsä Group, 2026. Kemin biotuotetehdas on edelläkävijä vesitehokkuudessa. ; Metsä Group. Kemin biotuotetehdas.
- [44] CEPI. Environment.
- [45] State Council of China, 2023. China issues reform plan for collective forest tenure system.; State Council of China, 202. Xi calls on Fujian to play leading role in country's modernization drive.
- [46] Canada Wood, 2025. Rising recognition of wood construction at 2025 China Green Building Conference.
- [47] Mobility Foresight, 2025. China Mass Timber Market Size, Share, Trends and Forecasts 2031.
- [48] State Council of China, 2023. China promotes bamboo as eco-friendly substitute for plastics. ; China
- Daily, 2025. China pushes for bamboo to replace plastics.
- [49] The Market Research Company, 2026. Bamboo Market Report 2026.
- [50] Centria, 2025. Sustainable utilization of forestry side streams to promote circular bioeconomy. Policy Brief.
- [51] EU Commission, 2021. The use of woody biomass for energy production in the EU. JRC Science for policy report.
- [52] Yle, 2024. Maailman ensimmäinen puinen satelliitti ammuttiin avaruuteen.
- [53] Aerogeelistä ja markkina-arvosta lisää myös Calvano et al., 2025. Adding Value to Wood-Based Products: A Systematic Literature Review on Drivers. Forests, 16(4), 590.
- [54] Meng et al., 2025. Eco-friendly fabrication of a delignified wood-calcium alginate aerogel with improved mechanical properties for efficient thermal insulation and flame retardancy. International Journal of Biological Macromolecules. 287,138561.
- [55] Markets and Markets, 2026. Aerogel Market.
- [56] EU CAP Network, 2025. Assessment of result-based interventions.
- [57] Grand View Research, 2026. Biodiversity Credit Market (2026 - 2033).

- [58] AirForestry. AirForestry works above the terrain, not through it.
- [59] Fact.MR, 2025. Swarm robotics market outlook (2025 to 2035).
- [60] Itä-Suomen yliopisto. Bachelor's degree programme in Sustainable Forest Bioeconomy.
- [61] Lue lisää esimerkistä visioiden rakentamisesta ja käytöstä VTT, 2025. Case: Metsä Group – Kasvunmahdollistajien tunnistaminen tukee kilpailukykyä muuttuvassa toimintaympäristössä
- [62] Valtioneuvosto, 2022. Biotalousstrategia 2022–2035 – kestävästi kohti korkeampaa arvonlisää.
- [63] Grand View Research, 2025. Bio-based Textiles Market (2025 - 2030).
- [64] OECD, 2025. The Circular Economy in Cities and Regions of the European Union; Kyodo Report. 2025. OECD report links circular economy to job growth in EU.
- [65] Österberg et al., 2024. Lankusta lääkkeisiin. Tuoteportfolion arvonnoususta uutta arvonlisää metsäsektorille. Metsäbiotalouden tiedepaneelin raportti 1/2024.
- [66] Tienaho et al., 2025. Pilot scale hydrodynamic cavitation and hot-water extraction of Norway spruce bark yield antimicrobial and polyphenol-rich fractions. Separation and Purification Technology, 360, 130925.
- [67] Aalto. Ioncell-F. ; Ioncell. Enter the new era of textile production!
- [68] Stara, 2025. Testissä ympäristöystävällisempi asfaltti – Stara kokeilee ligniinipitoisia asfalttimassoja katujen päällystyksiin.
- [69] DataIntelto, 2025. Lignin-based asphalt additives market.
- [70] Imec, 2025. Imec presents prototype of ingestible sensor for gut health monitoring.
- [71] EU, 2024. EU's Digital Product Passport: Advancing transparency and sustainability.
- [72] McKinsey, 2026. Where AI will create value—and where it won't.
- [73] IBM, 2025. Cost of a Data Breach Report 2026; Help Net Security, 2025. Average global data breach cost now \$4.44 million.
- [74] Recycling Today, 2024. Stora Enso launches beyond board packaging services.
- [75] Predence Research, 2026. Chemical as a Service Market Paves the Way for Smarter, Sustainable Solutions.
- [76] Empa, 2023. Biodrones. Delicate, diligent, transient. ; Wiesemüller et al., 2023. Biopolymer Cryogels for Transient Ecology-Drones. Advanced Intelligent Systems. 5(7), 2300037.
- [77] Global Market Insights, 2026. Precision Forestry Market Size & Share 2026-2035.
- [78] Business Insider, 2025. Hyundai built its newest factory around AI-powered technology like robotics and digital twins.
- [79] Markets and Markets, 2025. Digital Twin in Manufacturing Market Size, Share & Trends
- [80] VTT, 2025. Union between nature and AI: VTT develops new bio-based materials using microbes and AI.
- [81] McKinsey, 2024. How AI enables new possibilities in chemicals.
- [82] Foresttwin, 2025. Forest DTC News.
- [83] Market Intelto, 2026. Climate Digital Twin Visualization Market Research Report 2034.
- [84] PwC, 2023. PwC boosts global nature and biodiversity capabilities.
- [85] World Economic Forum, 2024; World Economic Forum, 2020. New Nature Economy Report II: The Future of Nature and Business.
- [86] EU, 2020. Nature Restoration Regulation.
- [87] Apple, 2023. Apple expands innovative Restore Fund for carbon removal.
- [88] InsightAce Analytics, 2025. Biodiversity and Natural Capital Credit Market Size and Revenue Impact Study 2025 to 2034.

[89] Wageningen University & Research. Community-based forest monitoring using mobile technologies. Earthinformatics cases.

[90] YLE, 2026. Metsäyhtiö maksaa siitä, että puu jää metsään lahoamaan – nyt tutkitaan, hyödyttääkö se luontoa.

[91] Data Intelo, 2025. Digital MRV (Measurement, Reporting, Verification) Market.

[92] LUKE, 2024. Luontoympäristön terveysvaikutukset ja niiden taloudellinen merkitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2024.

[93] City of Vancouver, 2025. Council report.



SUOMEN METSÄSÄÄTIÖ

VTT

Apilo, T. & Nousiainen, A. (2026). Tulevaisuuskompassi:
Miten luodaan menestyvä metsäelinkeino 2050? VTT.
DOI: 10.32040/2026.978-951-38-8847-3

ISBN 978-951-38-8847-3



Ota yhteyttä:
nimi.sukunimi@vtt.fi

www.vttresearch.com

beyond the obvious