

Ilmastonmuutoksen hillintä ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen



Kuva: © Mikko Nurmi

Ilmastokestävä metsänhoito on sekä ilmastonmuutoksen hillintää metsien avulla että sopeutumista muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin.

Hiilenkierto metsäekosysteemissä ja puutuotteissa

Metsänhoidon menetelmillä on merkittävä vaikutus puuston kasvuun, metsäekosysteemin hiilenkiertoon ja hiilen varastojen muutoksiin. Metsänhoidon lisäksi metsän hiilenkiertoon vaikuttavat useat ympäristötekijät, kuten lämpötila, kosteus ja metsämaan ominaisuudet. Metsänhoidon menetelmien vaikutukset hiilenkiertoon riippuvat tarkastelun aikajänteestä, mikä on syytä huomioida vaihtoehtojen arvioinnissa.

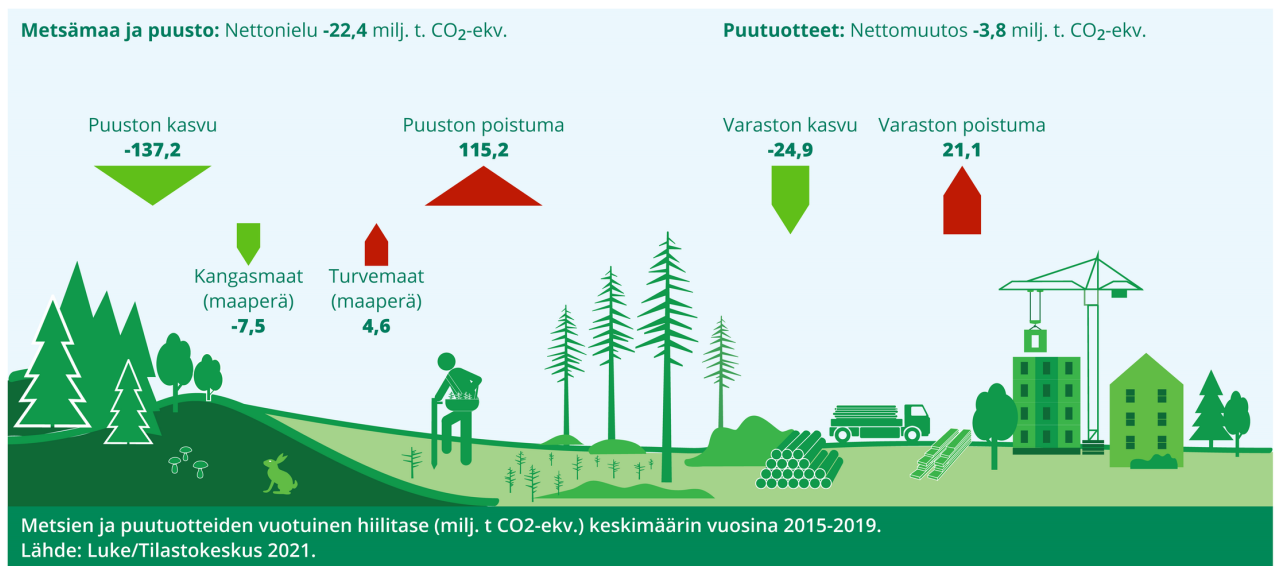
Metsäekosysteemi on hiilen varasto. Hiiltä varastoituu puustoon ja metsämaahan. Hiiltä varastoituu myös puusta valmistettaviin tuotteisiin. Kivennäismailla maaperän hiilivarasto voi olla lähes kaksinkertainen ja turvemailla monikymmenkertainen puuston hiilivarastoon nähden.

Hiilen sitoutuminen

Metsämaa ja metsäkasvillisuus sitovat tehokkaasti hiiltä. Metsät toimivat hiilinieluina silloin, kun ne sitovat ilmakehästä enemmän hiiltä kuin sieltä vapautuu tai poistetaan. Hiiltä sitoutuu ilmakehästä metsään puiden ja muiden kasvien kasvaessa yhteyttämisen kautta. Lisäksi metsämaan mineraalien rapautuminen poistaa hiilidioksidia ilmakehästä^[1]. Maaperään hiiltä kertyy puuston ja metsäkasvillisuuden, hakkuutähteiden ja mikrobien hajotessa. Turvemailla hiiltä kertyy turpeeseen, kun korkea vedenpinta hidastaa hajotusta. Hiiltä huuhtoutuu maahan myös elävien latvusten ja hakkuutähteiden pinnoilta.

Hiilen vapautuminen

Hiiltä poistuu hakkuiden ja hakkuutähteiden korjuun yhteydessä, kun biomassaa poistetaan metsästä. Metsästä vapautuu hiiltä ilmakehään kasvien ja juurten hengityksen sekä hajotusprosessien kuten puiden lahoamisen kautta. Turvemailla hiiltä vapautuu turpeesta myös metaanin muodostumisessa. Lisäksi metsämaasta hiiltä poistuu eroosion ja huuhtoutumisen kautta.



Metsien ja puutuotteiden vuotuinen hiilitase (milj. CO₂-ekv.) keskimäärin vuosina 2015-2019. Lähde Luke/Tilastokeskus 2021.

Hiilenkiertoon liittyviä käsitteitä metsanhoidon suosituksissa

Metsanhoidon suosituksissa kuvatut ilmastokestävyyteen liittyvät termit on muokattu useita lähteitä käyttäen [\[2\]](#)[\[3\]](#)[\[4\]](#).

- **Hiilinielu:** Metsä on hiilinielu, mikäli puustoon ja maaperään sitoutuvan hiilen määrä ylittää siitä poistuvan hiilen määrän. Tällöin metsän hiilivarasto kasvaa. Metsissä tapahtuu sekä hiilen sitoutumista yhteyttämisen seurauksena että vapautumista lahoamisen ja maahengityksen seurauksena. Jos hiiltä vapautuu enemmän kuin sitä sitoutuu, on metsä hiilen lähde. Metsät ja puutuotteet ovat yhteensä hiilinielu, jos niiden yhteenlaskettu hiilivarasto kasvaa ja hiilen lähde, jos niiden hiilivarasto pienenee.
- **Hiilivarasto:** Ekosysteemiin tai sen osaan varastoitunut hiili. Metsän hiilivarasto koostuu maanpäällisen ja -alaisen elävän ja kuolleen biomassan hiilestä. Hiilivarastoina toimivat puut, muu kasvillisuus, maaperäeliöstö mukaan lukien mikrobit, kuollut puuaines ja karike. Hiiltä on varastoituneena myös metsämaan hiilipitoisissa yhdisteissä. Metsän lisäksi hiilivarastoja ovat puusta valmistetut tuotteet. Hiilivaraston muutosta kuvaa vuosittainen hiilitase.
- **Metsien hiilitase:** Metsän eli puuston, muun kasvillisuuden ja maaperän yhteen lasketun hiilivaraston muutos, jossa on huomioitu myös hakkuussa poistuva hiili. Metsien käytön hiilitaselaskelmiin huomioidaan useimmiten myös puuntuotanto- ja puutuoteketjun päästöt, puutuotteiden korvausvaikutukset sekä tuotteiden elinkaaret [\[5\]](#). Positiivinen tase = varaston kasvu, negatiivinen tase = varaston pieneneminen.
- **Hiilen lisäisyys:** Hiilikompensaatioissa käytössä oleva termi, jossa päästövähennys tai hiilinielu/-varasto lisääntyy verrattuna tavanomaisena pidettyyn toimintatapaan. Suomessa tavanomaisena tapana voidaan pitää metsanhoidon suositusten mukaista, vallitsevaa metsänhoitoa. Hiilinielujen lisäämiseen tähtäävää toimenpidettä vastaan voidaan myöntää hiilinieluhyvityksiä vain siltä osin, kun hiilinielun lisäys on seurausta kyseisestä toimenpiteestä, eikä olisi tapahtunut joka tapauksessa osana tavanomaista metsänkäsittelyä. [\[6\]](#)[\[7\]](#)
- **Hiilinegatiivisuus:** Tilanne, jossa päästöjä sidotaan toiminnassa enemmän kuin tuotetaan ilmakehään, eli päästöt ovat negatiivisia. [\[8\]](#)[\[9\]](#)
- **Kasvihuonekaasut:** Merkittävimmät ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat

kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). Muita merkittäviä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry (H₂O), otsoni (O₃) sekä freonit. Kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmaston lämpenemistä haittaamalla maan pinnalta lähtevän lämpösäteilyn siirtymistä avaruuteen [\[10\]\[11\]\[12\]](#).

- **Kasvihuonekaasutase, -päästö ja -nielu:** Kasvihuonekaasupäästöllä tarkoitetaan ilmakehään vapautuvaa kasvihuonekaasujen määrää ja nielulla vastaavasti ilmakehästä sitoutuvaa määrää. Päästöt lämmittävät ilmakehää ja nielut viilentävät sitä. Kasvihuonekaasutase lasketaan kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen erotuksena. Laskennassa eri kaasut yhteismitallistetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂-ekv.), eli sellaiseksi määräksi hiilidioksidia, jolla olisi sama ilmastoa lämmittävä vaikutus. Yhteismitallistamisessa käytetään lukuarvona lämmityspotentiaalikertoimia (GWP, The global Global warming potential) usein tavallisesti 100 vuoden ajalle. Hiilidioksidille annettu kerroin (GWP(100)) on 1, metaanille 25 ja typpioksiduulille 298. [\[13\]](#) Metsien kasvihuonekaasujen tarkastelussa huomioidaan yleensä hiilidioksidin (CO₂) lisäksi myös metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O) CO₂-ekvivalentteina.

Ilmastonmuutoskenaariot

Ilmastonmuutoksessa on monia osatekijöitä. Keskeistä on kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin, ilmakehän lämpötilaa nostava vaikutus ja sen seurannaisvaikutukset. Ilmastonmuutoksen mallintamiseen käytetään skenaarioita eli kuvauksia vaihtoehtoisista, mahdollisista tulevaisuuksista.

RCP:t (Representative Concentration Pathway) ovat IPCC:ssä (Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli) vuonna 2014 hyväksyttyjä ilmaston mallinnukseen ja tutkimukseen käytettäviä skenaarioita. RCP:n arvo lasketaan määrittämällä ilmastosysteemiin imeytyvän auringonsäteilyn ja Maasta avaruuteen poistuvan pitkäaaltoisen säteilyn erotus vuonna 2100 ja vertaamalla sitä arvoon, joka säteilyllä oli ennen teollista vallankumousta (muutos: +2,6, +4,5, ja +8,5 W/m²).

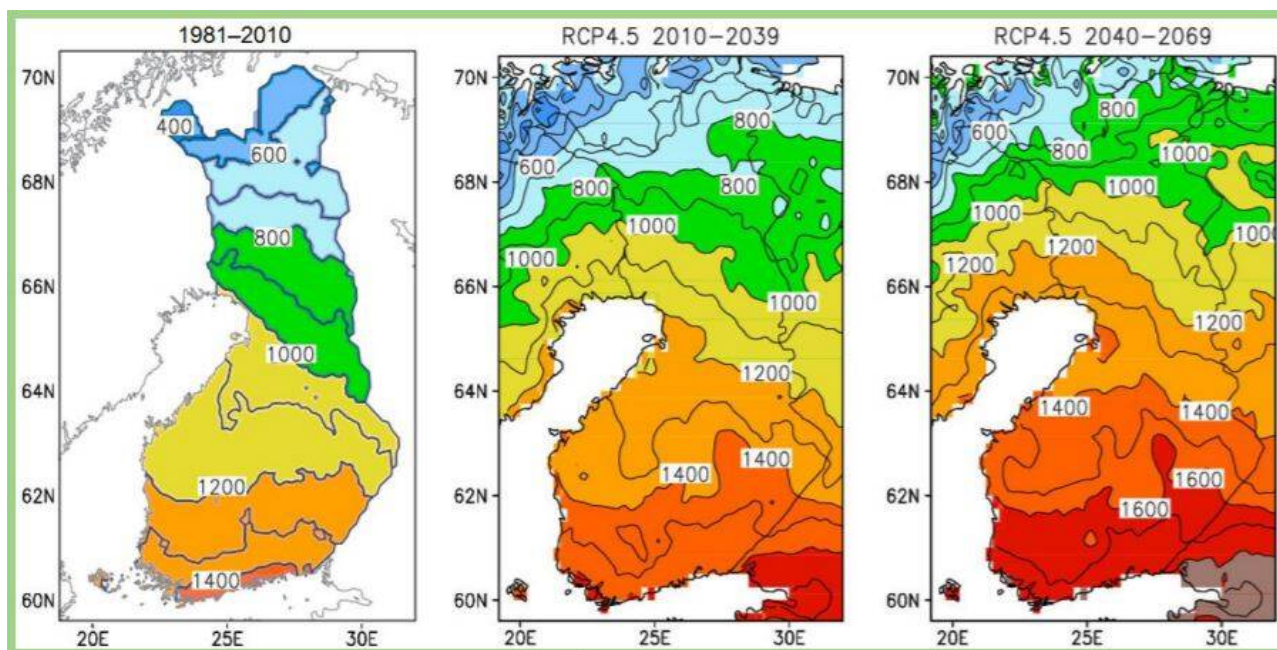
- RCP2.6-skenaariossa maailmanlaajuisten hiilidioksidipäästöjen oletetaan kääntyvän nopeaan laskuun 2020-luvulla ja päästöjen painuvan nolleen noin vuonna 2080. Tämä vaikuttaa epätodennäköiseltä nykyisen kehityksen valossa.
- RCP4.5-skenaariossa päästöt nousevat aluksi vielä hieman, mutta kääntyvät laskuun vuosisadan puolivälissä ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuus vakiintuu vuoden 2100 tienoilla.
- RCP8.5 kuvaa skenaariota, jossa pyrkimys päästöjen rajoittamiseen epäonnistuu täysin. Tällöin hiilidioksidipäästöt kasvavat nopeasti ja kolminkertaistuvat vuoteen 2100 mennessä.

Metsähoidon suosituksissa käytetään pääasiassa skenaarioita RCP4.5 ja 8.5, kun kuvataan ilmaston liittyvää metsien kehitystä.

Ilmaston muuttuminen Suomessa

Uusimpien ilmastonmuutosta koskevien malliennusteiden mukaan Suomen vuotuisen keskilämpötilan oletetaan nousevan 2–6 astetta ja vuotuisen sadannan lisääntyvän 6–18 prosenttia vuoteen 2100 mennessä. Ennusteen oletus on, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuus lisääntyy nykyilmaston (tarkastelujakso 1981–2010) noin 350 ppm:stä 430–940 ppm:än. Ennen teollistumisen aikaa hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä oli noin 280 ppm.

Vuosina 2040–2069 vuotuisen keskilämpötilan oletetaan olevan 2–3 astetta ja vuotuisen sadannan 6–11 prosenttia korkeampi kuin nykyään. Nämä ennusteet perustuvat Ilmatieteen laitoksen laskemiin 28 ilmastomallin keskiarvotuloksiin.



Lämpösummat kasvavat Suomessa ilmastonmuutoksen myötä. Keskimääräinen tehollinen lämpösumma (d.d.) jaksolla 1981–2010 sekä RCP*4.5 skenaariota vastaava arvio jaksoille 2010–2039 ja 2040–2069.

Kuvissa esitetty skenaario RCP4.5 kuvaa kohtuullista ilmastonmuutosta.

Näin ilmastonmuutoksen vaikutusten oletetaan kehittyvän Suomessa:

- Sää lämpenee ja sadanta lisääntyy selvästi enemmän talvella kuin kesällä.
- Hellepäivien määrä lisääntyy ja kuivuusjaksot yleistyvät sekä keväällä että kesällä.
- Runsassateisia päiviä esiintyy yhä useammin.
- Kylmiä talvia esiintyy aikaisempaa harvemmin.
- Ilmaston lämpenemisen edetessä routajaksot lyhenevät, ja Etelä-Suomessa maa voi yhä useammin jäädä talvella roudattomaksi.
- Tuulisuudessa ja myrskyjen esiintymisessä ei arvioida tapahtuvan suuria muutoksia, mutta voimakkaiden myrskyjen osuus saattaa kasvaa.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin ja metsätalouteen

Ilmaston lämpeneminen yhdessä kohonneen hiilidioksidipitoisuuden kanssa lisää puiden kasvua, mutta valoisan ajan pituuden pysyminen muuttumattomana vähentää lämpenemisestä saatavaa hyötyä. Aikainen kasvun alkaminen ja myöhäinen päättyminen lisäävät kasvua ja hiilensidontaa, mutta samalla hallavaurioriski kasvaa.

Lumipeitteen oheneminen ja häviäminen muuttavat maan lämpö- ja kosteusoloja ja vaikuttavat puiden kasvuun. Toistuvan jäätymisen ja sulamisen todennäköisyys maassa ja maanpinnalla lisääntyy, mikä voi vaurioittaa juuria ja haitata pienten taimien talvehtimistä. Puiden hengityksen lisääntyminen talven aikana kuluttaa myös energiavarastoja, mikä altistaa pakkasvaurioille.

Kuivuuskausien lisääntyminen on kuivuudelle alttiilla kasvupaikoilla haitallista pintajuurisille puille kuten kuuselle. Pitkäaikainen kuivuus voi heikentää puiden elinvoimaisuutta ja kasvua sekä altistaa puita seurannaistuhonille. Kuivuuskaudet lisäävät metsäpaloriskiä, mutta metsäpalot ovat olleet toistaiseksi harvalukuisia ja melko pienialaisia.

Ilmastonmuutos lisää useimpien hyönteis- ja sienituhojen riskiä. Suurimmat tuhoriskin aiheuttajat Suomen metsätaloudelle ovat juurikäpä, kirjanpainaja sekä roudattoman ajan pidentyessä lisääntyvä myrskytuhoherkkyys.



Esimerkkejä ilmastonmuutoksen ennustetuista vaikutuksista metsiin ja metsätalouteen. Monissa tapauksissa eri vaikutukset kytkeytyvät toisiinsa, jolloin haittavaikutukset voivat kertautua.

Puuston kasvu muuttuvassa ilmastossa

Ilmastonmuutoksen myötä kasvukausi pitenee ja puuston kasvuolosuhteet — esimerkiksi lämpöolosuhteet — muuttuvat monelta osin puuston hiilensidonnalle ja kasvulle otollisemmiksi. Näin tapahtuu etenkin Pohjois-Suomessa, missä metsien kasvua rajoittaa nykyään lyhyehkö kasvukausi ja melko alhaiset kesälämpötilat toisin kuin Etelä-Suomessa. Puuston kasvun oletetaan lisääntyvän Pohjois-Suomessa suhteellisesti enemmän kuin Etelä-Suomessa.

Puuston viime vuosikymmenien lisääntyneestä kasvusta arvioidaan kahden kolmasosan olevan ihmisen suoraa vaikutusta, esimerkiksi ojituksen ja puustopääoman lisääntymisen seurausta. Myös lannoituksilla on lisätty metsien kasvua. Kolmasosa on ympäristön muutosten vaikutusta, esimerkiksi lämpöolosuhteiden ja ilmakehän lisääntyneen hiilidioksidipitoisuuden muutosten seurausta. Typpilaskeuma voi lisätä puuston kasvua, mutta erityisesti Pohjois-Suomen metsissä laskeuma on pientä.

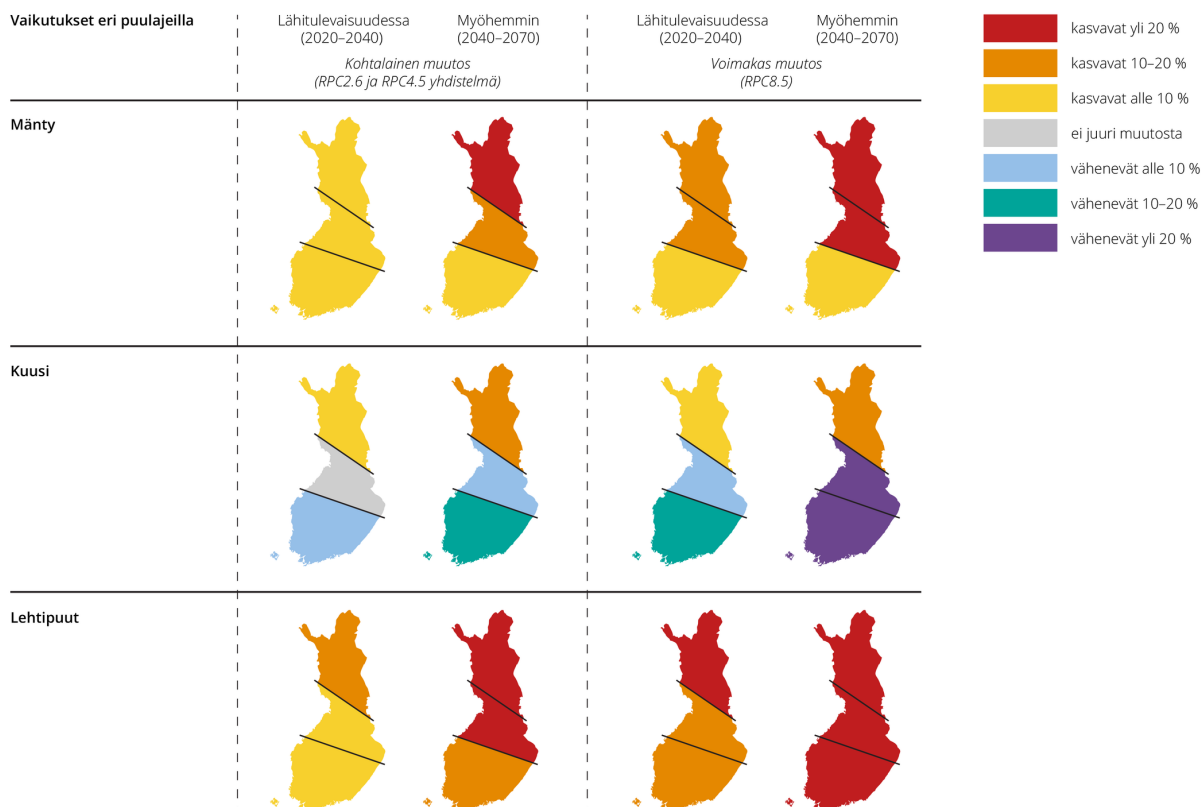
Etelä-Suomessa varsinkin kuusen kasvu voi kärsiä hyvin vettä läpäisevillä kasvupaikoilla, kun ilmasto lämpenee ja kuivuus sen myötä lisääntyy. Voimakas lämpeneminen voi vähentää jopa männyn kasvua. Metsien rakenteeseen ja puuston kasvuun sekä hiilenvarastoihin vaikuttavat ilmastonmuutoksen lisäksi myös metsien hoidon ja hakkuiden intensiteetti sekä ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät tuhoriskit.

Suomen metsien kannalta todennäköisin ilmastonmuutosvaihtoehto lienee sellainen, missä männyn kasvu lisääntyy etenkin Pohjois-Suomessa ja koivun koko maassa.

Ilmastonmuutoksen edetessä lämpeneminen vaikuttaa haitallisesti kuusen kasvuun etenkin Etelä-Suomessa. Muutos myös voimistaa ja luo uusia metsiin kohdistuvia riskejä.

Tuulituhojen mahdollisuus kasvaa maan routaisuuden vähenemisen seurauksena, lumituhot lisääntyvät Pohjois-Suomessa ja kuivuusjaksot vaikeuttavat etenkin kuusimetsien kasvua Etelä-Suomessa.

Ilmastonmuutoksen on ennustettu lisäävän metsäpaloriskiä, koska lämpötilat nousevat ja kesällä kuivuusjaksot yleistyvät. Lämpenevän ilmaston myötä tuhohyönteisten esiintymisedellytykset paranevat ja bioottisten (tautien ja tuholaisten aiheuttamien) metsätuhojen mahdollisuus kasvaa etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa.



Ilmastonmuutoksen suuntaa antavat oletetut vaikutukset puuston kasvuun ja hakkuumahdollisuuksiin.

Vaikutukset eri puulajeilla: mänty, kuusi, lehtipuut.

Metsätuho-riskit kasvavat ilmastonmuutoksen seurauksena

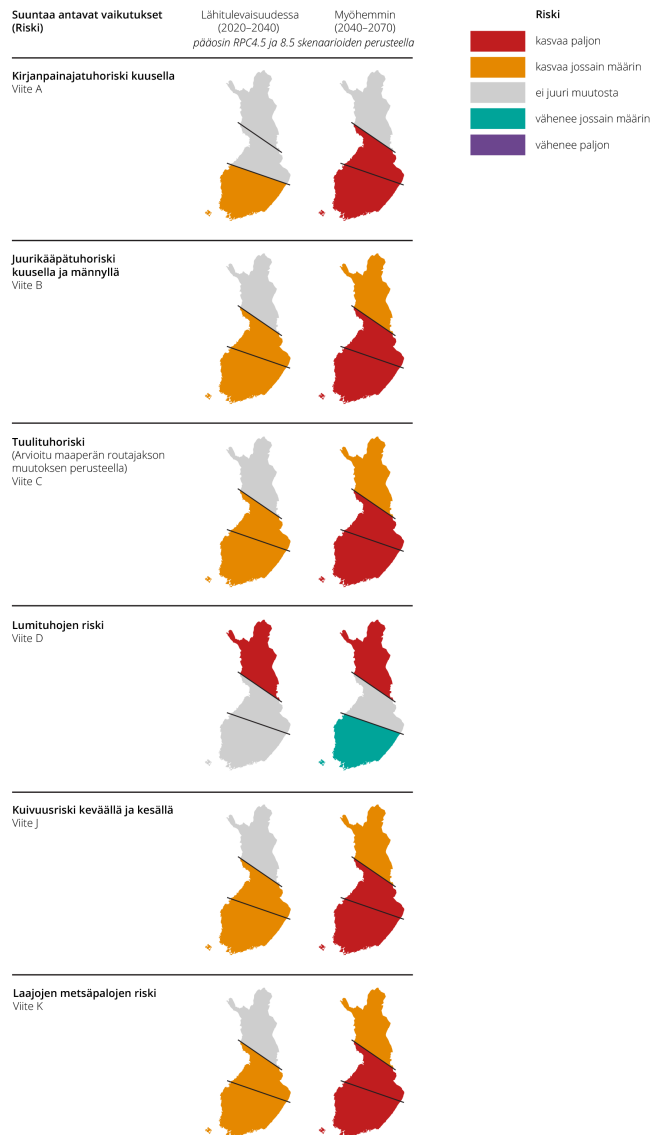
Metsien tuhonaiheuttajat ja puiden lahottajat ovat osa luonnon kiertokulkua ja monimuotoisuutta. Ilmastonmuutoksen arvioidaan kuitenkin lisäävän monia tuhoriskejä, jotka voivat muodostua metsätalouden kannalta hyvin haitallisiksi. Tämä korostaa ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja tuhojen torjunnan merkitystä.

Ilmaston lämpeneminen lisää sellaisia taudin- ja tuhonaiheuttajia, joiden leviämistä Suomen kylmä ilmasto on aiemmin ehkäissyt. Uusia tuhonaiheuttajia voi saapua esimerkiksi ilmavirtausten tuomina, mutta myös ulkomaisten taimien, puutavaran tai puisen pakkausmateriaalin mukana.

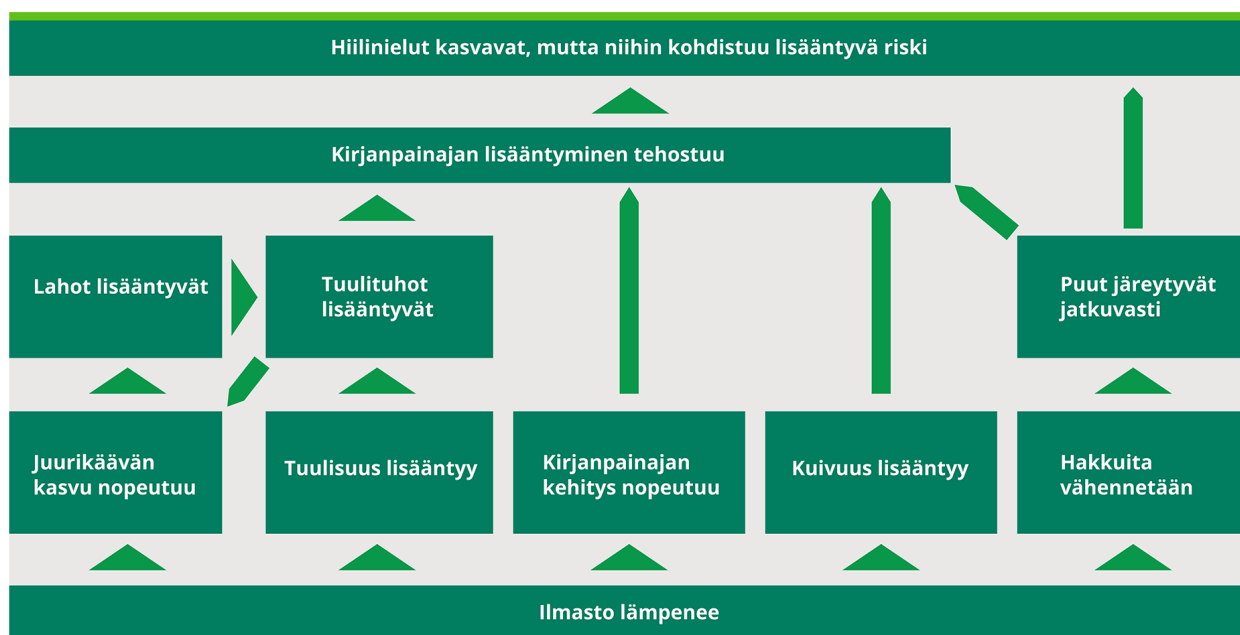
Ilmastonmuutos voi lisätä kuivuudesta aiheutuvien tuhojen sekä tuuli- ja lumituhojen riskiä sekä näistä aiheutuvia seurannaistuhon, kuten kirjanpainajatuhoja. Ilmaston lämpeneminen edistää juurikäävän aiheuttamia tuhoja, mikä edelleen lisää metsien tuuli- ja lumituho-riskiä.

Ilmastonmuutoksen kasvattamat tuhoriskit vaihtelevat puulajeittain ja kasvupaikoittain sekä maantieteellisesti. Lisääntyvät riskit tulee ottaa huomioon metsien hoidossa ja hakkuissa. Myös puuston elinvoimaisuuteen on syytä kiinnittää entistä suurempi huomio.

Seuraavissa karttakuvissa (Kuvat 11 ja 12) on esitetty ilmastonmuutoksen oletettuja vaikutuksia metsiin. Esitetyt arviot ovat suuntaa-antavia ja ne on tehty pääosin RCP4.5 ja RCP8.5 -skenaarioita käyttävien vaikutustutkimusten perusteella. Arviot kuvaavat keskimääräistä tilannetta maan eri osissa (eteläinen, keskinen ja pohjoinen Suomi).



Ilmastonmuutoksen muita oletettuja suuntaa antavia vaikutuksia metsiin. Riskit: kirjanpainahtuhot kuusella, juurikäpätuhot kuusella ja männyllä, tuulituhot, lumituhot, kuivuus ja metsäpalot.



Esimerkki metsätuhojen ketjuuntumisesta.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen

Ilmastonmuutos vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen sekä suoraan että välillisesti. Yksittäisten lajien ja kokonaisten kasvillisuusvyöhykkeiden levinneisyys voi siirtyä pohjoisemmaksi suoraan ilmastonmuutoksen seurauksena. Välilliset vaikutukset voivat silti olla merkittävämmät. Metsien hoito vaikuttaa yhdessä ilmastonmuutoksen kanssa metsien ikä- ja puulajisuhteisiin.

Ilmastonmuutoksen torjunnan ja siihen sopeutumisen yhteydessä tulee kiinnittää samanaikaisesti huomiota myös monimuotoisuusvaikutuksiin. On olemassa riski, että yksinomaan ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja sen estämiseen tähtäävillä toimenpiteillä aiheutetaan haittaa luonnon monimuotoisuudelle ja sitä kautta heikennetään ekosysteemien sopeutumisen mahdollisuuksia pitkällä aikavälillä.

Jos ainespuun ja muun metsäbiomassan käyttöä lisätään ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, on huolehdittava, ettei esimerkiksi järeän lahoppuun määrä metsissä vähene. Tämä olisi metsien monimuotoisuudelle haitallista, koska monet uhanalaiset lajit ovat riippuvaisia juuri järeästä lahoppuusta.

Ilmastonmuutoksen hillinnän merkitys metsänkäsittelyssä

Metsänhoidolla vaikutetaan hiilinielujen ja -varastojen kehittymisen suuntaan ja voimakkuuteen. Metsän kokonaishiilitaseen kannalta metsän puuntuotos, hakkuiden intensiivisyys, biomassan hajotustoiminta, erilaiset häiriöt ja fossiilisten raaka-aineiden korvausvaikutukset voivat olla merkittävämpiä seikkoja kuin valittu metsänkäsittelymenetelmä.

Metsämaahan päätyvä karike kerryttää maaperään hiiltä, kunnes tasapaino hiilen sitoutumisen ja vapautumisen välillä on saavutettu. Puuston hiilivaraston kartuttaminen on mahdollista vain tiettyyn rajaan asti. Metsien ikääntyessä puuston tuhoriskit kasvavat. Metsätuhojen vähentävä vaikutus metsien hiilensidontakapasiteettiin on merkittävä, ja sen on ennustettu ilmaston lämmetessä edelleen voimistuvan.

Suomen metsät toimivat hiilen nieluina eli metsien puustoon ja maaperään varastoituu vuosittain enemmän hiiltä kuin niistä vapautuu takaisin ilmakehään. Hakuut vaikuttavat metsien hiilivaraston kehitykseen ja ne voivat aiheuttaa suurta vaihtelua metsien vuotuisen hiilitaseeseen. Tarkastelutaso (valtakunta, yksittäinen metsätila, metsikkö) vaikuttaa siihen, kuinka suurena vaihtelu näyttäytyy.

Tavoitteellinen metsänhoito auttaa ylläpitämään puuston kasvukykyä ja hiilensidontaa. Tärkeää on kiinnittää huomiota myös maaperän hiilivarastoihin ja kasvihuonekaasupäästöjen minimointiin erityisesti suometsissä, joissa on suuri hiilivarasto. Hiilidioksidin lisäksi on syytä ottaa huomioon voimakkaiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin ja typpioksiduulin, muodostuminen metsäekosysteemeissä. Ilmastonmuutosta voi hillitä mm. lannoittamalla, metsittämällä ja välttämällä tarpeettoman tehokasta kuivatusta suometsissä.

Puutuotteiden hiilivarasto ja puutuotteiden substituoivaikutukset

Suomen metsät ja puutuotteet sitovat vuosittain hiilidioksidia määrän, joka vastaa vajaata puolta maamme kasvihuonekaasujen päästöistä. Vaikka raakapuun ja hakkuutähteiden mukana metsästä poistuu hiiltä, osa tästä hiilestä varastoituu puusta tehtäviin tuotteisiin. Puuston, metsämaan ja puutuotteiden yhteisestä hiilensidonnasta puutuotteiden osuus on viime vuosina ollut noin 13 %. Puutuotteiden hiilivaraston säilymisaika vaihtelee tuotteiden käyttöiän ja kierrätettävyyden perusteella. Kasvihuonekaasuinventaarioissa sahatavaran sisältämä hiili puoliintuu 35 vuodessa, puulevyjen 25 vuodessa ja sellun kahdessa vuodessa.

Korvaus- eli substituutiovaikutus syntyy, kun uusiutuvilla puupohjaisilla tuotteilla korvataan uusiutumattomiin luonnonvaroihin pohjautuvia tuotteita tai korvataan tuotteita, joiden valmistus kuluttaa runsaasti energiaa. Substituutiona pidetään esimerkiksi energianpuunkäyttöä, kun se korvaa uusiutumattomia polttoaineita, kuten kivihiiltä, öljyä tai maakaasua. Vaikka energiapuun osalta hiilen oletetaan vapautuvan välittömästi, sekin tuottaa ilmastohyötyä, jos samalla korvataan fossiilista energiaa ja vähennetään sen käyttöä.

Suomessa korvaus- eli substituutiovaikutus on selvästi suurempi kuin puutuotteisiin vuosittain sitoutuvan hiilen määrä.

Metsien ja puunkäytön kokonaisvaikutus ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksiin riippuu siitä, millä tavoin metsiä hoidetaan ja käytetään sekä miten niistä korjattu raaka-aine hyödynnetään.



Hiilenkierron periaate metsästä puupohjaisiin tuotteisiin, takaisin ilmakehään ja uudelleen metsään.

Hakkuista pidättäytyminen voi johtaa hiilivuotoihin

Puuston hakkuista pidättäytyminen on puuston tuhoriskeistä riippuen lyhyellä aikavälillä (alle 25 vuotta) tehokkain keino metsän hiilivaraston kasvattamiseksi. Hakkuista pidättäytymisen tehokkuutta ilmastonmuutoksen hillinnässä heikentää kuitenkin ns. hiilivuoto.

Vapaassa markkinataloudessa puutavaran kysyntä ja tarjonta hakevat jatkuvasti tasapainoa. Tällöin tarjolle tulevien puukauppakohteiden väheneminen jollain alueella voi kohdistaa kysynnän toisaalle. Tutkimuksissa hiilivuodolla on tarkoitettu jonkin maan metsien hakkuiden vähenemisestä aiheutuvaa hakkuiden lisäystä muissa maissa. Toisaalta jos puuraaka-aineen tarjonta pienenee, niin tuotteiden valmistuksessa kysyntä voi myös siirtyä muihin raaka-aineisiin.

Ilmastonmuutoksen hillinnän keskeisiä keinoja metsätilan hoidossa

Metsänomistaja vaikuttaa valinnoillaan siihen, millä tavoin hänen metsänsä hillitsevät ilmastonmuutosta. Pää tavoitteiden tasapainoa tavoittelevassa metsänhoidossa metsien hiilitase pidetään positiivisena lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Tässä otetaan huomioon niin puusto, maaperä kuin tuotteet.

Ilmastonmuutoksen hillinnän painottaminen voi tarkoittaa metsänomistajan kannalta ainakin seuraavia toimia:

Vain lyhyellä (alle 25 vuotta) aikavälillä:

- Myöhennetään uudistus- ja harvennushakkuita. Tämä edellyttää mm., että puusto on tervettä, eivätkä sitä uhkaa merkittävät tuhot. Tuhon kohdatessa metsästä voi muodostua jopa hiilen lähde.
- Vältetään tai myöhennetään ojien kunnostusta ojitetuissa suometsissä.

Lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä:

- Käytetään puuntuotantoa maksimoivia kiertoaikoja ja harvennusmalleja. Puuston kasvatustiheyksien nostaminen hidastaa puuston järeytymistä, mikä heikentää puuntuotannon kannattavuutta.
- Uudistushakkuun jälkeen metsä uudistetaan heti. Tämä lyhentää uudistushakkuun jälkeistä hiilipäästöjaksoa ja edistää puuston hiilensidontaa.
- Käytetään uudistamisessa jalostettua viljelymateriaalia. Näin on mahdollista lisätä puuntuotosta ja hiilensidontaa jopa 30 %:lla jalostamattomaan materiaaliin verrattuna.
- Suometsissä vältetään tarpeettoman tehokasta kuivatusta ja käytetään hyväksi jatkuvan kasvatuksen menetelmiä niille soveltuvilla kohteilla.
- Vahvistetaan metsänhoidolla metsien tuhonkestävyyttä. Metsätuhot vähentävät metsikön kykyä sitoa hiiltä ja voivat muuttaa alueen päästölähteeksi.
- Edistetään lahopuun jäämistä metsään. Tämä kerryttää maaperän hiilivarastoa.
- Lisätään lannoituksella puuston kasvua ja hiilensidontaa kasvatusmetsissä.
- Metsitetään puuttomat tai vähäpuustoiset joutoalueet. Metsittämällä saadaan lisää hiiltä sitovaa metsäalaa pitkällä aikavälillä.

Pitkällä aikavälillä myös soiden ennallistaminen tuottaa ilmastohyötyjä. Ennallistaminen säilyttää turpeen hiilivarastoa, mutta sillä voi olla ensimmäiset vuosikymmenet ilmastoa lämmittävä vaikutus metaanipäästöjen ja puuston kasvun taantumisen takia.

Tehostetun puuntuotannon ja hiilensidonnan lisäksi tai sijaan voidaan panostaa hiilen varastointiin puustoon ja maaperään. Tällöin metsää käsitellään niin, että hiilivarasto kasvaa. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi seuraavia keinoja:

- pidennetään puuston kiertoaikoja, eli myöhennetään hakkuita
- kasvatetaan puustoa tiheämpänä
- vältetään maanpinnan muokkausta lyhyellä aikajänteellä
- vältetään tai myöhennetään ojien kunnostamista
- lisätään lannoituksella puuston kasvua ja hiilensidontaa
- suojellaan metsä ja tehdään vain metsän terveyttä ylläpitäviä hakkuita
- metsitetään joutoalueita.

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen metsätilan hoidossa eri aikajänteillä

Metsänhoidolla ja hyvällä metsäsuunnittelulla voidaan vaikuttaa metsien kykyyn sopeutua ilmastonmuutokseen. Tämä on tärkeää, koska sopeutumisella voidaan varmistaa metsien kykyä tuottaa hyvinvointia myös tulevaisuudessa. Ilmastonmuutoksen edetessä metsät altistuvat yhä enemmän erilaisille metsätuhoille. Tästä syystä metsänhoidossa tulee ottaa huomioon odotettavissa olevat ja mahdolliset puuston terveyttä ja kasvua uhkaavat riskit.

Metsätuhoille altistuminen on aikaan ja paikkaan sidottua. Esimerkiksi kuivuusriski voi olla metsän nykytilanteessa olematon. Kuivuudelle altistuminen voimistuu tulevaisuudessa ja siihen vaikuttaa metsän haavoittuvuus. Huolehtimalla metsien terveydestä ja monimuotoisuudesta lisätään metsien kykyä vastustaa kasvavia tuhoriskejä.

Metsänomistajalle paras keino varautua omassa metsätaloudessa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin on huolellinen harkinta metsien hoidosta ja käytöstä. Oikeilla valinnoilla voidaan vähentää ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ja samalla varautua muutokseen eri aikajänteillä. [\[14\]](#)[\[15\]](#)[\[16\]](#)

Metsien rakenteen muutos on hidasta. Tästä syystä ilmastonmuutokseen sopeutumista on syytä tarkastella metsien käytön suunnittelussa eri aikaväleillä. Pohjois-Suomessa nämä aikavälit ovat vielä pidempiä kuin Etelä-Suomessa [\[17\]](#)[\[18\]](#).

1. **Lyhyen aikavälin** (alle 25 vuotta) metsänhoidon toimenpiteillä voidaan lisätä nykyisten metsien vastustuskykyä (resistenssi), eli vähentää haavoittuvuutta esimerkiksi hyönteis-, tuuli- ja lumituhoja vastaan.
2. **Keskipitkän aikavälin** (25–50 vuotta) metsänhoidon tavoitteena on vahvistaa metsien elinvoimaisuutta muuttuvassa ilmastossa sekä vähentää haavoittuvuutta aiheuttavia tekijöitä, kuten laajoja yhden puulajin metsiköitä.
3. **Pitkän aikavälin** (yli 50 vuotta) tavoitteena ovat muuttuneisiin olosuhteisiin sopeutuneet metsät (transition), mihin vaikutetaan esimerkiksi käyttämällä jalostettuja siemeniä ja taimia metsän uudistuksessa. Muuttuneisiin olosuhteisiin sopeutuneissa metsissä puulajikoostumus, puuston kiertoaika ja metsien käsittelymenetelmät voivat olla nykyisestä poikkeavia.

Ilmastonmuutokseen sopeutumisen keskeisiä keinoja metsänhoidossa

Metsien altistumista ilmatoriskeille voidaan pienentää lisäämällä nykyisten metsien vastustuskykyä tuhoja vastaan^[2]. Tämä tarkoittaa metsänomistajan kannalta erityisesti seuraavaa:

- Hyödynnetään tieto kasvupaikan ominaisuuksista ja ilmastonmuutoksen vaikutuksista, kun valitaan kasvatettavia puulajeja.
- Perustetaan sekametsiä, joissa on kuusi-koivu- tai mänty-kuusi -sekoitus. Luontainen taimiaines hyödynnetään sekapuustoisuuden aikaansaamiseksi.
- Istutetaan kuusta kasvupaikoille, joilla on pieni kuivuusriski ja vältetään laajojen kuusimetsien syntymistä etenkin Etelä-Suomessa.
- Huolehditaan uudistusaloilla entistä paremmin maanmuokkauksen, viljelytyön sekä -materiaalin hyvästä laadusta. Tämä parantaa taimikon alkuun lähtöä ja vähentää esimerkiksi pienten taimien kuivumis- ja roustevaurioriskiä, jota ilmastonmuutos lisää.

Metsien haavoittuvuuden vähentäminen erilaisille riskeille edellyttää keskipitkän ja pitkän tähtäimen toimenpiteitä. Tämä tarkoittaa metsänhoidossa metsänomistajan kannalta erityisesti seuraavaa:

- Vältetään metsätilan tasolla yksipuolista puustorakennetta. Käytetään useita metsänkasvatuksen menetelmiä ja kasvatetaan monipuolisesti eri puulajeja.
- Käytetään metsänviljelyssä alueelle sopivinta jalostettua viljelymateriaalia aina, kun se on mahdollista.
- Noudatetaan ajantasaisia suosituksia viljelymateriaalin alkuperästä. Eteläisen alkuperän käyttö paljon pohjoisemmassa aiheuttaa riskin taimien sopeutumiselle, mikä korostuu ilmaston muuttuessa.

Pitkän aikavälin tavoite, muuttuneisiin olosuhteisiin sopeutuneet metsät, saavutetaan onnistuneilla lyhyen ja keskipitkän aikavälin toimenpiteillä^{[17][18]}.

Tarkempia kuvauksia sopeutumisen toteutuksesta on esitetty metsänhoidon menetelmäkuvauksissa.

Luontainen uudistaminen muuttuvassa ilmastossa

Ilmaston lämpenemisen voidaan ajatella parantavan metsäpuiden siemensatoja, mutta ilmastonmuutos ei yksioikoisesti lisää niitä. Männyn luontaisen uudistamisen edellytykset voivat parantua Pohjois-Suomessa, jossa alhaiset lämpötilat rajoittavat siementen tuleentumista nykyään.

Metsän luontaisessa uudistamisessa on syytä varautua tuulituhojen yleistymiseen siemen- ja suojuspuualoilla. Tuulituhoriskiä voidaan pienentää kiinnittämällä erityishuomio uudistusalan tuulioloihin tai sopeutua tuhoihin lisäämällä siemenpuiden lukumäärää. Luontaisesti uudistettavan metsikön viimeisenä harvennushakkuuna käytettävällä väljennyshakkuulla on mahdollisuus parantaa tulevien siemen-/suojuspuiden tuulen kestävyyttä sekä valmistaa latvusta siementuotantoon. Samalla tavoin jatkuvan kasvatuksen metsiköissä tulee huolehtia riittävästä elinvoimaisten, siementuotantokykyisten puiden määrästä luontaisen uudistumisen edellytysten varmistamiseksi.

Lumipeitteen vähenemisestä johtuen siementen itämiselle otollisin aika keväällä lyhenee Etelä-Suomessa. Kuivuuden ja poutakausien yleistyminen ja pidentyminen lisäävät sirkkataimien kuolleisuutta, joskin aikaisin keväällä orastuneet taimet kestävät yllättävän pitkiäkin poutajaksoja. Poutajakso on erityisen haitallinen heti siemenkuoren aukeamisen jälkeen. Lumipeitteen väheneminen lisää roustetuhoja. Tiheä siemenpuuasento vähentää rousteen muodostumista.

Rankkasateiden yleistyminen lisää eroosion aiheuttamia tuhoja itäville siemenille ja sirkkataimille. Eroosioriskiä voidaan vähentää oikein tehdyllä (riittävän pinnallisella) maanmuokkauksella.

Metsänviljely muuttuvassa ilmastossa

Metsänviljelyssä varmistetaan siementen ja taimien ilmasto- ja kasvupaikkavaatimukset. Oikea alkuperä turvaa onnistuneen viljelytuloksen. Etelästä liian kauas pohjoiseen siirrettyjen puiden kasvu jatkuu myöhempään kuin paikallisten puiden, jolloin talveentumattomat solukot vioittuvat pakkaskauden alettua ja puut altistuvat erilaisille tuhoille. Pitkät siirrot erilaisiin ilmasto-olosuhteisiin ovat puiden terveyden kannalta haitallisia.

Metsänjalostuksen avulla voidaan nopeuttaa metsäpuiden sopeutumista muuttuviin olosuhteisiin ja varmistaa metsien tuotoskyvyn säilyminen tulevaisuudessa. Jalostuksessa eri alkuperiä testataan erilaisissa ympäristöissä. Metsänviljelyaineiston tuotantoon valitaan tulevaisuuden ilmastoon mahdollisimman hyvin sopeutuvia, geneettisesti stabiileja ja viljelyvarmoja yksilöitä.

Lumipeitteen väheneminen lisää roustetuhoja. Kylvöaloilla vaikutukset voivat olla merkittäviä, koska rouste on jo nyt usein merkittävin kylvötulosta heikentävä tekijä. Roustetuhoja voi ehkäistä pinnallisella ja pienialaisella muokkauksella, jossa humustakin jätetään muokkausjälkeen.

Lumipeitteen väheneminen vähentää jälki-itämistä eli siementen itämistä kylvöä seuraavana kasvukautena. Etelä-Suomessa jälki-itäminen on tosin ollut marginaalista tähänkin asti. Pohjoisempana asialla voi olla merkitystä, koska hyvät siemensadot ovat harvinaisia ja jälki-itämisen osuus on ollut jopa 30 %.

Lumipeitteen vähenemisestä johtuen siementen itämiselle otollisin aika keväällä lyhenee Etelä-Suomessa. Kuivuuden sekä poutakausien yleistyminen ja pidentyminen lisää sirkkataimien kuolleisuutta, joskin aikaisin keväällä orastuneet taimet kestävät yllättävän pitkiäkin poutajaksoja. Poutajakso on erityisen haitallinen heti siemenkuoren aukeamisen jälkeen. Kylvön yhteydessä siementen peittämisellä voidaan vähentää sirkkataimien kuolleisuutta. Siementen peittämiseen on haettu koneellisessa kylvössä uusien jyrsin- ja seularatkaisujen avulla.

Siemenviljelyksillä tuotetut jalostetut siemenet ja niistä kasvatetut taimet kasvavat metsikkösiemenalkuperiä paremmin. Männyllä jalostushyödyn on laskettu olevan 10–25 prosenttia tilavuuskasvussa. Lisäksi jalostuksella saadaan parannettua puuaineen laatua merkittävästi. Vastaavasti kuusella jalostushyödyksi on saatu ensimmäisen sukupolven siemenviljelyssiemenellä 20 prosenttia ja 1,5-polven siemenviljelyssiemenellä peräti 37 prosenttia.

Jalostuksella saadut kasvunlisäykset mahdollistavat kiertoajan lyhentämisen ja samanaikaisesti metsiköstä saatavan järeän tukkipuun määrän kasvun. Tämä antaa mahdollisuuden tehostaa hiilensidontaa.

Puunkorjuu muuttuvassa ilmastossa

Ilmastonmuutos edellyttää koko metsätaloudelta uusia toimintatapoja sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi talvien lauhtuminen ja kelirikkoaikojen muutokset haastavat metsäteollisuuden ympärivuotisen puuhuollon jo nyt.

Ilmaston lämmitessä routajaksot lyhentyvät, minkä vuoksi puuta korjataan jatkossa aiempaa yleisemmin huonosti kantavilla mailla ja sulan maan aikaan. Myös metsäteihin kohdistuva rasitus lisääntyy ilmastonmuutoksen myötä.

Juurikäävän torjumiseksi on syytä välttää maasto- ja puustovaurioita. Lisäksi kantokäsittelyä on syytä tehdä aiempaa aktiivisemmin myös taudin esiintymisen reuna-alueilla.

Vierasperäisten puulajien käytön mahdollisuudet ilmastonmuutokseen sopeutumisessa

Puulajivalikoiman laajentaminen vierasperäisillä lajeilla on keino yrittää sopeutua ilmastonmuutokseen. Potentiaalia nähdään eritoten sellaisissa puulajeissa, jotka ovat sopeutuneet lämpimämpään ilmastoon.

Kasvatettavien puulajien valintaa säätelee metsälaki, ja metsäsertifiointi asettaa rajoituksia puulajien käytölle. Vierasperäisten puulajien käyttämistä Suomessa on tutkittu vähän, joten niihin liittyvät riskit ja mahdollisuudet tunnetaan huonosti verrattuna kotimaisiin puulajeihin.

Metsanhoidon suositukset eivät tue laajamittaista vierasperäisten puulajien käyttöä tai kansainvälistä taimikauppaa niihin liittyvien lisääntyneiden riskien, kuten tautien leviämisen, vuoksi.

Lue lisää samasta aiheesta: Metsätilan hoito | [Metsien kestävä hoito ja käyttö](#)

Kirjallisuus

1. Brady, P.V. 1991. The effect of silicate weathering on global temperature and atmospheric CO₂. J. Geophys. Res.: Solid Earth, 96 (B11).
2. Saksa, T. (toim.) 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito : Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 98/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki.48
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-115-8>
3. Tuomainen, T. 2018. Metsien hiilitase. Julkaisussa: Rantala, S. (toim.). Tapion taskukirja. Tapio Oy. Helsinki. s. 14–19.
4. Soimakallio, S, Häkkinen, T. & Seppälä, J. 2021. Puutuotteet hiilivarastona ja uusiutumattomien materiaalien korvaajina. Suomen ympäristökeskuksen raportteja XX / 2021. Julkaisematon.
5. Niemi, M., Mäkinen, A., Viitala, R. & Lumperoinen M. 2020. Metsäsuunnittelun laskennan periaatteet. Tapio Oy.
6. Nurmi, V. & Ollikainen, M. 2019. Kohti hiilipörssiä? Suomessa esitetyt hiilipörssiin liittyvät aloitteet tutkimuskirjallisuuden ja kansainvälisten kokemusten valossa. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:17.
7. Laine, A., Auer, J., Halonen, M., Horne, P., Karikallio, H., Kilpinen, S., Korhonen, O., Airaksinen, J., Valonen, M. & Saario, M. Esiselvitys maankäyttösektorin hiilikompensaatiohankkeista. Gaia Consulting Oy ja Pellervon taloustutkimus PTT ry.
8. Sitra, 2021. Tulevaisuussanasto.
<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilinegatiivinen/>
9. IPCC, 2021. FAQ Chapter 4 - Global Warming of 1.5°C.
<https://www.ipcc.ch/sr15/faq/faq-chapter-4/>
10. Tieteen termipankki, 2014.
<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Geofysiikka:kasvihuonekaasu>
11. Suomen virallinen tilasto (SVT): Ilmapäästöt toimialoittain.
<http://www.stat.fi/til/tilma/kas.html>
12. Ilmatieteen laitos, 2021. Kasvihuonekaasut.
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus>

Climate change connection, 2020. CO2 Equivalents.

<https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/>

14. Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K. T., Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363(1501):2341-2351.
<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/363/1501/2339>
15. Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A., Peltola, H. 2018. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material, and ditch network maintenance on timber production of Finnish forests. European Journal of Forest Research.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-017-1093-9>
16. Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen, K. and Eerikainen, K., 2015. Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. Eur. J
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-014-0860-0>
17. Nagel, L.M., et al. Adaptive Silviculture for Climate Change. A National Experiment in Manager-Scientist Partnerships to Apply an Adaptation Framework. Journal of Forestry 115, 167-178. Silviculture & Climate Adaptation
<https://www.adaptivesilviculture.org/silviculture-climateadaptation>
18. Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. Ecological Applications 17, 2145-2151