

Metsäekosysteemien toiminta ja metsien käyttö muuttuvassa ilmastossa (MIL) -tutkimusohjelman loppuraportti

MIL-kotisivu

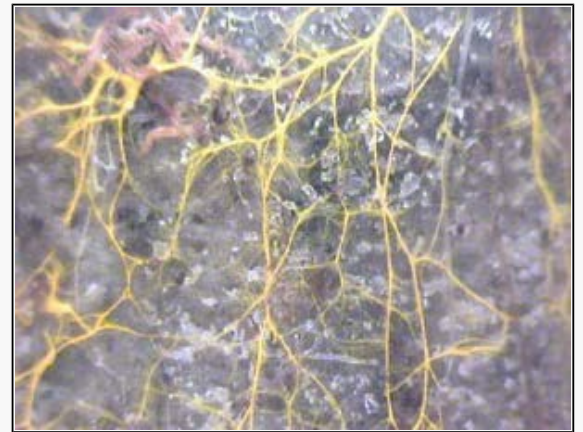
Loppuraportti

Raportin sisältö

Kangasmaiden juuristosysteemi reagoi kasvuympäristön muutoksiin

Metsäpuiden ja muiden metsäkasvien hienojuuret uusiutuvat jatkuvasti ja muodostavat merkittävän, jopa maanpäällistä kariketuotantoa suuremman hiilivirran maahan. Valtakunnallisia hiilitaseita laskettaessa tämän hiilivuon suuruus tulee huomioida samoin kuin sen mahdolliset muutokset tulevaisuudessa ja metsien ravinteisuuden muuttuessa.

Ennustettu keskilämpötilan kohoaminen pidentää kasvukautta, lämmittää maaperää ja nopeuttaa ravinteiden mineralisaatiota ellei veden saatavuus ole rajoittava tekijä. Kasvuolosuhteiden muutokset vaikuttavat todennäköisesti positiivisesti maanpäällisen ja maanalaisen karikkeen määrään, mikä lisää myös hiilen virtaa maahan. Maanpäällisten ja maanalaisten karikevirtojen suhteet saattavat kuitenkin muuttua, millä voi maahengityksen muutosten lisäksi olla merkitystä siihen, kuinka paljon hiiltä lopulta varastoituu vaikeasti hajoaviin ja pitkäikäisiin hiiliyhdisteisiin.



Kuva: Heljä-Sisko Helmisaari

Maaperän lämmitys kasvattaa hienojuuria ja mykorritsoja syvemmälle maahan ja nopeuttaa niiden uusiutumista

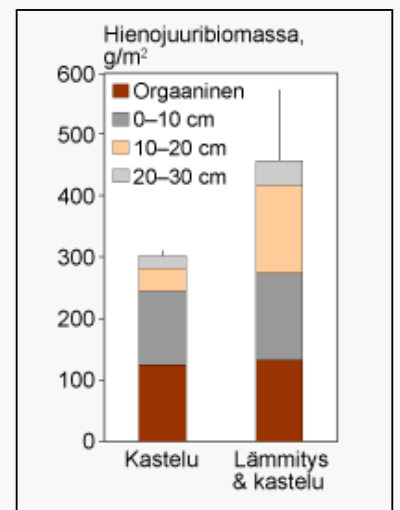
Pitkäaikaisista maastokokeista saadaan arvokasta tietoa metsäekosysteemin vasteesta hitaasti tapahtuvaan ilmaston muutokseen. Pohjois-Ruotsissa sijaitseva Ruotsin maatalousyliopiston (SLU) maaperän lämmitys- ja lannoituskoe on ainutlaatuinen borealisella vyöhykkeellä.

Maastokokeen lannoitus ravinneliuksella aloitettiin vuonna 1987 ja maaperän lämmitys vuonna 1995. Seurasimme kolmen vuoden ajan (v. 2008–2010) maaperän lämmityksen ja lannoituksen vaikutusta kuusen hienojuurten, mykorritsallisten lyhytjuurien sekä mykorritsasienten ulkoisen rihmaston biomassaan ja tuotantoon. Kokeessa puiden neulas- ja hienojuuribiomassa lisääntyivät lannoituksen jälkeen samassa suhteessa, mutta lämmitetyillä koealoilla hienojuuribiomassan määrä suhteessa neulasmassaan kasvoi.

Maaperän lämpötilan kohottaminen (+5 °C) lisäsi hienojuurten ja mykorritsallisten lyhytjuurien määrää syvemmissä kivennäismaakerroksissa verrattuna lämmittämättömiin koealoihin (Kuva 1). Tämä parantaa puun ravinteiden- ja vedenottomahdollisuuksia. Myös mykorritsojen ulkoisen sienirihmaston tuotanto lisääntyi jonkin verran.

Elinikäanalyysin mukaan sekä lämmitys että lannoitus lyhensivät hienojuurten elinikää. Lämmitys ja lannoitus yhdessä vaikuttivat vielä voimakkaammin: hienojuurten elinikä oli noin vuosi, kun vertailualueilla juuret elivät keskimäärin kaksi vuotta.

Hienojuurten eliniän ja biomassojen avulla arvioitiin vuotuinen maanalainen kariketuotanto (Kuva 2), jota verrattiin puiden maanpäälliseen kariketuotantoon. Sekä lämmitys että lannoitus lisäsivät maanalaisen



Kuva 1. Hienojuuribiomassa (g/m²) eri metsämaakerroksissa Pohjois-Ruotsin kokeella 15 vuoden lämmityskäsittelyn jälkeen.

kariketuotannon osuutta. Lämmitettyjen ja lannoitettujen koealojen vuotuinen kokonaiskariketuotanto oli lähes kolminkertainen vertailukäsittelyyn nähden.

Maan lämpeneminen lisäsi siis hiilen virtaa maahan hienojuurten nopeutuneen uusiutumisen ja lisääntyneen kariketuotannon kautta.

Kuusen hienojuurten ravinteiden otossa eroja eri ilmasto-oloissa

Metsäpuittemme menestyminen vähäravinteisessa maaperässä ja ankarassa ilmastossa, jossa on lyhyt kasvukausi, edellyttää tehokkaan juuriston kasvattamista ravinteiden ja veden ottoa varten. Ilmasto ja maaperä vaikuttavat siihen, millaiseksi juuristo muodostuu ja kuinka nopeasti se uusiutuu.

Juuriston ravinteita ja vettä ottavat ohuimmat juuret, hienojuuret, ovat havupuillamme mykorrhizallisia. Ektomykorrhizasieni kasvaa hienojuurten pienten juurenkärkien ympärillä sekä juuren kuorikerroksen soluväleissä. Mykorrhizasieni kasvattaa maahan sienirihmastoja, joka lisää juurten pinta-alaa.

Puu voi lisätä ravinteiden ottoa kasvattamalla hienojuuria ja sienirihmastoja laajemmalle, muokkaamalla ektomykorrhizallisten lyhytjuurten morfologiaa ja muuttamalla sienilajistoa. Hienojuurten ravinteidenottostrategiat kuvastavat samalla sopeutumista muuttuvaan ilmastoon.

Tutkimme kuusen hienojuurten ravinteidenottostrategioita ilmasto- ja kasvupaikkagradienilla. Tutkimus tehtiin 12 kuusikossa, joista viisi oli Suomessa, kaksi Virossa ja viisi Saksassa. Suomesta ja Virossa kerätyissä näytteissä kaikki lyhytjuuret olivat ektomykorrhizallisia, mutta Saksassa viisi prosenttia lyhytjuurista ei ollut mykorrhizasientien kolonisoimia.

Pohjoisessa enemmän ektomykorrhitsoja puuston pohjapinta-alaa kohti

Ravinteita ottavien sienijuurellisten lyhytjuurten biomassa oli 13 kiloa suurempi puuston pohjapinta-alan neliometriä kohti, kun siirryttiin Etelä-Saksasta 10 leveysastetta pohjoisemmaksi Etelä-Suomeen. Vastaava muutos oli paljon suurempi, 45 kg pohjapinta-alan neliometriä kohti, kun siirryttiin 10 leveysastetta Etelä-Suomesta Pohjois-Suomeen.

Yksittäisellä puulla oli 4–26 miljoonaa ektomykorrhizallista juurenkärkeä. Niiden lukumäärä puuta kohti ei eronnut merkittävästi eri metsiköissä. Puukohtaiset tulokset eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia, koska pohjoisissa metsissä puut ovat pienempiä. Kun tulokset laskettiin pohjapinta-alaa kohti, erot olivat selviä. Pohjoisissa metsissä (Suomi) oli 4.5–11 kertaa enemmän lyhytjuuria pohjapinta-alaa kohti, niiden rakenne oli tiheämpää ja ne olivat kaksi kertaa pitempiä kuin Etelä-Saksan metsissä.

Ektomykorrhitsojen biomassaosuus koko hienojuuribiomassasta lisääntyi etelästä pohjoiseen (Flossenbürg, Saksa: 6 %–Kivalo 36 %) ja myös ektomykorrhitsojen ravinteidenottopinta-ala lisääntyi etelästä pohjoiseen. Yhden kuusen ektomykorrhitsojen pinta-ala oli Suomessa keskimäärin 33 neliometriä. Etelässä oli enemmän sellaisia ektomykorrhizalajeja, jotka muodostavat pitemmälle ulottuvia sienirihmastoja, minkä ansiosta etelän ektomykorrhitsat olivat tehokkaampia ravinteiden otossa.

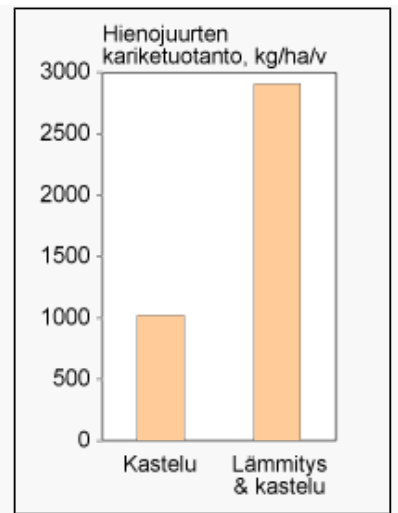
Pohjoisten puiden hienojuuret sopeutuvat kylmään ilmastoon ja vähäiseen ravinteiden saatavuuteen

Tutkimustulosten perustella hienojuurten sopeutumisstrategiat ovat erilaisia boreaalisen ja lauhkean vyöhykkeen kuusimetsissä. Pohjoisessa puiden hienojuuret sopeutuvat kylmään ilmastoon ja vähäiseen ravinteiden saatavuuteen lisäämällä ektomykorrhitsojen biomassa, pituutta ja lukumäärää suhteessa metsikkötunnuksiin. Pohjoisessa puut allokoivat suhteellisesti enemmän biomassa maanalaisiin osiinsa kuin etelässä kasvua rajoittavan kasvutekijän, etenkin typen, saannin turvaamiseksi.

Pohjoisessa puut kasvattavat ja levittävät sienijuurensa laajalle, kun taas etelässä sienijuuria on vähemmän, mutta ne ovat tehokkaampia morfologialtaan ja sienilajistoltaan. Tämä tarkoittaa samalla sitä, että lämpimämmässä ilmastossa puusto käyttää suhteellisesti enemmän hiilihydraatteja maanpäällisen biomassan kasvattamiseen, ellei ravinteiden ja veden saatavuus rajoita.

Hienojuurten sisältämä hiili voi olla vanhempaa kuin juuret

Hienojuurten on oletettu käyttävän kasvuunsa äskettäin ilmakehästä yhteytettyä hiiltä. Radiohiilitutkimuksemme osoittivat kuitenkin, että juurten selluloosan hiili oli 3–12 vuotta vanhaa ja useissa tapauksissa jopa 10 vuotta



Kuva 2. Kuusen hienojuurten vuotuinen maanalainen kariketuotanto (kg/ha).

vanhempaa kuin hienojuurten ikä. Tämä osoitti juurten voivan käyttää varastoitua ja maaperästä otettua hiiltä selluloosan muodostamiseen.

Hienojuurten hiili oli 1–5 vuotta vanhempaa kivennäismaassa kuin maaperän orgaanisessa pintakerroksessa, ja paksimmat hienojuuret (läpimitta 1.5–2 mm) olivat 2–3 vuotta vanhempia kuin ohuimmat, mykorritsalliset hienojuuret (läpimitta alle 0.5 mm). Hienojuurten hiili oli vanhempaa Suomen karummilla kasvupaikoilla kuin Viron eteläisemmällä ja viljavammalla kasvupaikalla.

Puulaji vaikuttaa metsämaan hiilen ja typen virtoihin enemmän lämpimässä ilmastossa: maaperäeliöstö avainasemassa

Fennoskandian yleisimmät puulajit, kuusi ja mänty, lisäävät joidenkin aiempien tutkimusten mukaan kasvupaikkansa hiilen ja typen määriä enemmän kuin koivu. Tutkimme orgaanisen aineen hajoituksessa tapahtuvaa hiilen vapautumista ilmakehään (maahengitystä) ja mineralisaatiota (hiilen ja typen vapautumista maaperään hajoavasta karikkeesta) kahdella puulajikokeella, joista toinen sijaitsi Etelä-Ruotsissa ja toinen Pohjois-Suomessa. Molemmat kokeet oli perustettu yli 50 vuotta sitten.

Etelä-Ruotsissa maaperässä oli eniten hiiltä ja typpeä kuusikossa ja vähiten koivikossa. Myös Pohjois-Suomessa hiilen ja typen määrät olivat merkittävästi suuremmat kuusikossa kuin koivikossa. Etelä-Ruotsissa hiilen päivittäinen mineralisaatio oli nopeinta koivikossa. Koivikossa oli myös suuri kastematopopulaatio, 120 yksilöä neliometrillä, joka todennäköisesti osaltaan selittää hiilen mineralisaationopeutta, sillä kastematojen muokkaama karie hajoaa helpommin. Pohjois-Suomessa hiilen ja typen mineralisaatio oli nopeampaa kuusikossa ja koivikossa kuin männikössä. Syynä saattoi olla aluskasvillisuuden erot, etenkin männikön runsas seinäsammalkasvusto, joka hidasti orgaanisen aineen hajotusta.

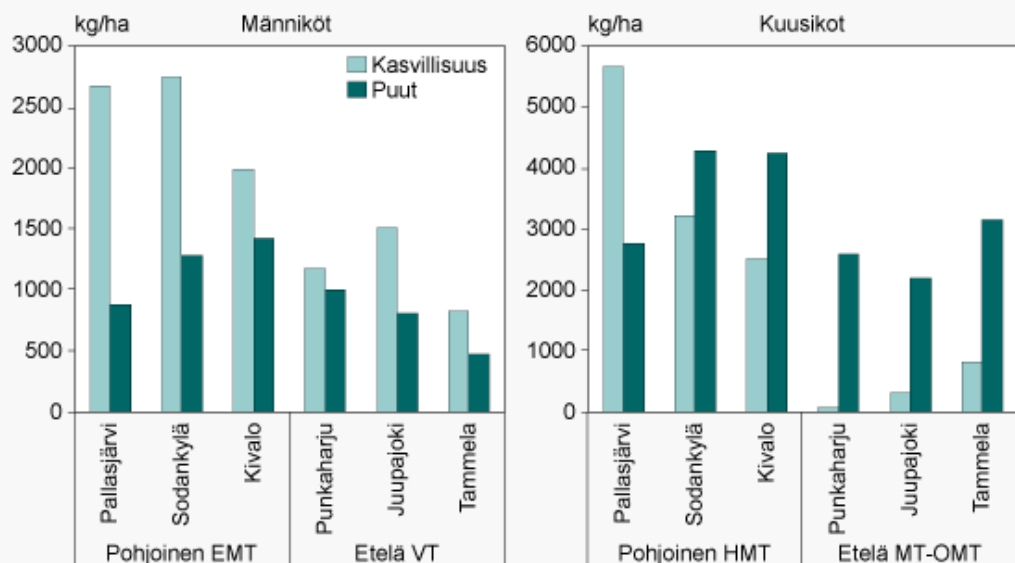
Etelä-Ruotsissa typen nettomineralisaatiomäärässä (80–90 kg typpeä hehtaarilla vuodessa) eri puulajimetsiköiden välillä ei ollut eroja, mutta nitrifikaatio (nitraatin muodostus) oli suurinta koivikossa. Pohjois-Suomessa typen nettomineralisaatio oli vähäistä (< 4 kg typpeä hehtaarilla vuodessa) eikä puulaji vaikuttanut siihen.

Eri ilmastossa sijaitsevien kasvupaikkojen suurin ero oli siinä, että Etelä-Ruotsin koivikko paransi maata, ts. maan orgaanisen aineen hajotus oli nopeampaa koivun lehtikarikkeen lisäessä kastematopopulaatiota. Samaa ei kuitenkaan tapahtunut Pohjois-Suomen koivikossa, jossa ilmasto rajoittaa kastematojen esiintymistä.

Maavarsilla ja juurilla on tärkeä merkitys metsämaan hiilivarastossa

Aluskasvillisuuden maanalaiset osat ovat oleellinen osa hiilen ja ravinteiden kiertoa metsämaassa. Tutkimme aluskasvillisuuden maavarsien ja hienojuurien sekä puiden hienojuurien ja läpimitaltaan 2–5 mm paksujen juurien biomassaa orgaanisessa kerroksessa ravinteisuus- ja ilmastogradienteilla. Aineisto kerättiin 12 koealalta, joista puolet oli kuusikoita ja puolet männiköitä. Koealat sijaitsevat Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Aluskasvillisuuden kokonaisbiomassasta 40–60 % oli maan alla. Sekä männiköissä että kuusikoissa aluskasvillisuus allokoiti enemmän biomassaa maan alle pohjoisessa kuin etelässä (Kuva 3). Etelä-Suomessa aluskasvillisuuden maanalainen biomassa orgaanisessa kerroksessa lisääntyi kasvupaikan ravinteisuustason pienessä eli oli suurempi puolukkatyyppin (VT) männiköissä kuin lehtomaisen tai tuoreen kankaan (OMT-MT) kuusikoissa.



Kuva 3. Aluskasvillisuuden ja puiden maanalainen biomassa (maavarret/juuret) orgaanisessa kerroksessa a) mäntykoealoilla ja b) kuusikoealoilla. Metsätyypit: EMT = *Empetrum-Myrtillus*-tyyppi, VT = *Vaccinium*-tyyppi, HMT = *Hylocomium-Myrtillus*-tyyppi, MT = *Myrtillus*-tyyppi, OMT = *Oxalis-Myrtillus* -tyyppi.

Pohjoisessa metsikön ikä vaikutti ravinteisuustasoa enemmän aluskasvillisuuden biomassan määrään. Männiköiden orgaanisessa kerroksessa oli enemmän aluskasvillisuuden maavarsia ja juuria kuin puiden juuria sekä etelässä että pohjoisessa. Kuusikoissa suhde oli pääsääntöisesti toisin päin, niiden orgaanisessa kerroksessa oli enemmän puiden juuria kuin aluskasvillisuuden maanalaisia osia.

Aluskasvillisuuden maavarret ja juuret sekä puiden läpimitaltaan alle 5 mm juuret selittivät pohjoisessa 7–24 % ja etelässä 1–4 % orgaanisen kerroksen kokonaisbiomassasta. Juurten ja maavarsien kasvulla saattaa siten olla huomattava vaikutus orgaanisen kerroksen hiilimäärän vaihtelulle vuosien välillä etenkin Pohjois-Suomessa.

Tuloksia käytetään kasvihuonekaasutaseiden raportoinnissa

Tuloksia hyödynnetään metsien hiilitaseiden kansallisessa ja globaalissa mallintamisessa ja raportoitaessa Suomen kasvihuonekaasujen taseita. Kansallisessa kasvihuonekaasutaseiden raportoinnissa on tähän saakka käytetty samaa juurten uusiutumiskerrointa eri puulajeille ja kasvupaikoille. Tulostemme avulla tätä voidaan nyt tarkentaa, ja samalla tehdä ennusteita ilmaston muuttumisen vaikutuksista.

Hiilen varastoituminen maaperään riippuu tasapainosta varsinkin maanpäällisten ja maanalaisten karikevirtojen ja orgaanisen aineen hajotuksen välillä, ja siihen vaikuttaa myös liukoisen orgaanisen hiilen huuhtoutuminen. Maaperän eliöstö on keskeinen näissä prosesseissa, ja ilmasto vaikuttaakin maaperän hiilen ja typen prosesseihin paitsi puulajin, myös maaperäeliöstön elinolosuhteiden kautta. Lämpimämmässä ilmastossa ja ravinteikkaammassa maaperässä hiiltä varastoituu enemmän maaperään suuremman karikesadon myötä, mutta lehtipuumetsiköissä vähemmän kuin havupuumetsiköissä.

Lämpimämmässä ilmastossa puusto käyttää suhteellisesti enemmän hiilihydraatteja maanpäällisen biomassan kasvattamiseen, ellei ravinteiden ja veden saatavuus rajoita. Mikäli ilmasto lämpenee, mutta ravinteiden saatavuus rajoittaa, juurten kasvu ja maanalainen kariketuotanto lisääntyvät suhteessa maanpäälliseen kasvuun. Tällöin puut ja aluskasvillisuus allokoivat suhteellisesti enemmän biomassaa maanalaisiin osiinsa kasvua rajoittavan kasvutekijän, tärkeimpänä typpi, saannin turvaamiseksi. Tämä voi osaltaan vaikuttaa takaisinkytkentänä maanpäällisen kasvun pienenemiseen. Ilmaston lämmitessä oleelliseksi asiaksi muodostuukin ravinteiden saatavuus.

Kirjoittajat: *Heljä-Sisko Helmisaari, Jaana Leppälampi-Kujansuu, Maija Salemaa ja Shambhu Sah*

- Hankkeen vetäjä: varttunut tutkija [Maija Salemaa](#)
- Muut tutkijat: Heljä-Sisko Helmisaari (Helsingin yliopistossa 1.6.2010 lähtien), Jaana Leppälampi-Kujansuu (Helsingin yliopisto), Pekka Nöjd ja Shambhu Sah.
- Hanke 3528: [Hiilen ja ravinteiden dynamiikka kangasmailla ympäristötekijöiden muuttuessa](#)
- [Hankkeen julkaisut](#)

[Takaisin raportin sisältöön](#)

[Sivun alkuun](#)

Tämän artikkelin pysyvä osoite on
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:metla-201210036199>