

Tapani Repo, Marja Roitto ja Sirkka Sutinen

## Juuritutkimuksella uutta tietoa puiden kasvusta

### Juuret ekosysteemipalvelijoina

**I**lmastomme ominaispiirteitä ovat lämpötilan, valaistuksen ja sadannan voimakas vuodenaikaisvaihtelu. Ympäristötekijöiden vaihtelu edellyttää puiden maanpäällisiltä ja maanalaisilta kasvosilta hyvää sopeutumiskykyä. Maanpäällisten osien kasvuun ja sopeutumiseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu laajasti. Sen sijaan puiden juuria on tutkittu vähemmän. Niiden merkitystä puiden kasvuun ei liene tunnustettu samassa määrin kuin maanpäällisten osien merkitystä. Juuristotutkimuksiin liittyy monia ongelmia. Näytteiden otto ja mittaukset ilman niiden kaivamista maasta ovat monin verroin hankalampia kuin mittaukset maanpäällisistä kasvosista. Juurien toimintaa koskevaa tutkimustietoa kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan ymmärtää puiden kasvuun vaikuttavia tekijöitä ja metsäekosysteemin ainevirtoja vaihtelevissa ympäristöoloissa. Viime vuosina tämän tutkimusalan tärkeys on ymmärretty paremmin ja monissa tutkimuslaitoksissa ja -laboratorioissa tutkimusta on kohdennettu myös puiden maanalaisen prosessin selvittämiseen. Muiden muassa Metsäntutkimuslaitoksella on Euroopan mittakaavassa ainutlaatuinen juuristolaboratorio <http://www.metla.fi/jo/juuristolaboratorio/juuristolaboratorio.htm>, joka perustettiin yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston kanssa (kuva 1).

Juurilla on merkittävä vaikutus metsäekosysteemien hiilenkiertoon. Arvioiden mukaan metsämaan osuus koko maaekosysteemin hiilivarastosta on 40 %, kun metsien maanpäällisten osien hiilivaras-

ton osuus kaikesta maanpäällisten osien hiilestä on 80 %. Metsien hiilenkierron kannalta hienojuuret ovat lyhytikäisyytensä vuoksi merkittävä tekijä. Arvioiden mukaan jopa 75 % metsäekosysteemin biomassan nettotuotosta menee hienojuurten kasvuun. Eri puolajeja ja 28 maata käsittävässä kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että sadanta lisää hienojuurten kasvua. Puun ikä lisää hienojuurten kasvua, mutta vähentää niiden uusiutumisnopeutta. Ympäristön stressitekijöiden vaikutuksista puiden juurten elintoimintoihin, kuolemaan, uusiutumisnopeuteen sekä juuristovaurioiden vaikutuksista maanpäällisten kasvosien kasvuun tiedetään vähän.

### Routa ja juuret

Maan alhaisten lämpötilojen, maan jäätyamisen, jäätymis-sulamisjaksojen ja tulvan vaikutuksista hienojuuriin erityisesti syksyn, talven ja alkukevään aikana on varsin vähän tietoa. Ohuen lumipeitteen seurauksena maa yleensä routaantuu enemmän, jolloin maan sulaminen ja lämpeneminen keväällä voivat viivästyä. Kylmä maa keväällä heikentää juurten veden- ja ravinteiden ottoa, mikä heijastuu puiden kasvuun. Juurten toimintaan läheisesti liittyvät sienirihmastot kärsivät vaurioita, kun lämpötila laskee  $-10^{\circ}\text{C}$  alapuolelle. Kuitenkin osa rihmastosta saattaa kestää jopa  $-30^{\circ}\text{C}$  pakkasia ilman karaisukäsittelyä. Myös juurten vedenoton kannalta tärkeät hienojuuret voivat kestää talvella jopa alle  $-10^{\circ}\text{C}$  pakkaslämpötiloja. Juurten sienirihmastolla ei näyt-



- ◆ Selvitetään puiden eri osien vasteita erilaisiin stressitekijöihin (rousta, tulva, kuivuus).
- ◆ Nopeutetaan puiden vuosisykliä.



**Kuva 1.** Puiden juuria tutkitaan laboratorio- ja maasto-oloissa. Kuvassa on esitetty minirhitsotronikuvaus Metlan juuristolaboratoriossa. Laboratorio muodostuu neljästä juuristokammioista eli dasotronista, joissa jokaisessa on neljä isoa kasvatusruukkuja.

olevan vaikutusta juurten eikä neulasten pakkaskes-  
tävyteen.

Rousta syntyy, kun maavesi jäätyy. Jäätymisen seurauksena maa kuivuu. Maaperän vedellä on suuri lämpökapasiteetti, ja siksi lumettomana aikana kestää useita viikkoja, ennen kuin maan lämpötila laskee alle nollan, vaikka ilman lämpötila olisikin pakkasen puolella. Tämä on merkittävä juurten suo-  
jamekanismi loppusyksyllä ja lumipeitteen ohella myös talvella. Alhaisesta lämpötilasta aiheutuva stressi syntyy, kun maan lämpötila laskee nolla asteen alapuolelle ja maassa oleva vesi jäätyy. Koska juuret ovat pakkaskeston suhteen puiden herkimmat osat, lämpötilan nopea aleneminen voi aiheuttaa hienojuurten vaurioitumisen. Tämä koskee erityisesti kuusta, jonka juuristosta valtaosa on maan pintakerroksessa. Puut pystyvät korjaamaan talviaikana syntyneitä juuristovaurioita puulajeista ja vaurion laadusta riippuen jo vaurioitumista seuraavan kas-

vukauden alkupuolella tai joissain tapauksissa vasta useamman kasvukauden aikana. Korjausprosessit kuluttavat kuitenkin energiavaroja, jotka puu normaalisti käyttäisi muuhun kasvuun.

Nykykäsityksen mukaan, juurilla on kyky kasvaa ympäri vuoden eli niillä ei ole samanlaista kylmä-  
käsitelyvaatimusta, jollainen tarvitaan silmujen lepotilan purkautumiseen. Juurten kasvu riippuu ympäristötekijöistä ja käytettävissä olevista energiavaroista. Maan lämpötila ja routaisuus vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti kasvuprosessit keväällä käynnistyvät. Jos maa sulaa ja lämpenee aikaisin keväällä, juurten veden- ja ravinteiden otto lisääntyvät, sitä mukaa kun valaistus, lämpötila ja haihdunta lisääntyvät. Jos taas roudan sulaminen keväällä viivästyy, juurten vedenotto on hidasta tai ne eivät pysty ollenkaan ottamaan vettä kylmästä maasta, vaikka vettä olisikin tarjolla.

## Ilmastomuutos ja juuret: Lumenpoistoa kuusikossa

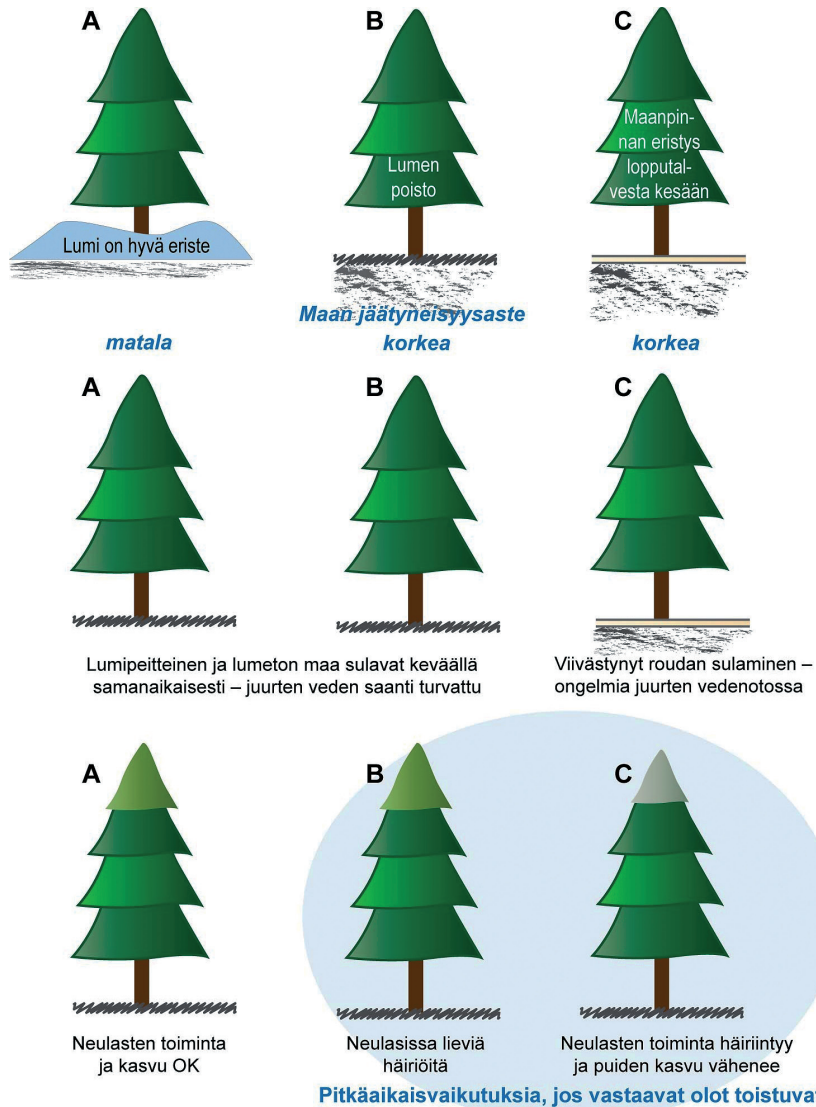
Vaikka ilmaston on ennustettu lämpenevän tulevaisuudessa, talviaikaiset paukkupakkaset tuskin häviävät pohjoisilta leveysasteilta eli routaa tulee esiintymään myös tulevaisuudessa. Routaoloissa tapahtuvat muutokset riippuvat erityisesti lumipeitteen paksuudessa tapahtuvista muutoksista. Ne voivat olla merkityksellisiä puiden kasvun kannalta, sillä paksu lumikerros estää maan liiallisen jäähtymisen ja näin suojaa myös juuria. Routa voi vähentää tai puuttua tulevaisuudessa kokonaan sellaisilta alueilta, joilla se on nykyilmastossa yleinen. Tällä on positiivisia vaikutuksia puiden kasvuun, ellei juuristohengitys pitkän lepokauden aikana kuluta uuden kasvun kannalta tärkeitä energiavarastoja. Jos routa häviää kokonaan, sillä voi kuitenkin olla vaikutuksia puiden vuosirytmien säätelyyn. Alustavien kasvukammiokoekoiden tulosten perusteella talviaikainen routa aikaisti männyn ja rauduskoivun silmujen puhkeamista keväällä verrattuna tilanteeseen, jossa routaa ei ollut. Silmunpuhkeamisen aikaistuminen pidentää kasvukautta, mikä on positiivinen asia, mutta toisaalta liian aikainen silmunpuhkeaminen voi altistaa uuden kasvun pakkasille, joita esiintyy varsin usein loppukevään ja alkukesän aikana. Roudattomuuden negatiivisia vaikutuksia ovat ongelmat puiden korjuussa, korjuusta aiheutuvien juuristovaurioiden lisääntyminen ja puiden altistuminen myrskytuhoille.

Tulevaisuudessa roudan määrä voi myös lisääntyä, mikäli lumipeitteen määrä vähenee, mutta talvipakkasia silti esiintyy. Tämänkaltaisen tilanteen testaamiseksi järjestettiin itäsuomalaisessa kuusikossa koe, jossa normaalin lumipeitteen kertymän ja sulamisen lisäksi lumikerros pidettiin muutamassa sentissä talven ajan. Yhdessä käsittelyssä roudan annettiin sulaa luontaisesti, mutta toisessa käsittelyssä maanpinta eristettiin kevästä kesään roudan sulamisen hidastamiseksi (kuva 2). Käsittelyt toistettiin kahtena peräkkäisenä talvena, jotka poikkesivat sääoloiltaan toisistaan. Lumenpoistokäsittelyt ja näin muodoin routakäsittelyt vaikuttivat neulasten tärkkelys-, hiili- ja typpipitoisuuksiin ja sähköisesti mitattuun soluvälivastukseen. Ensimmäisen, kylmemmän talven jälkeen käsittelyvaihtokutukset tulivat jälkimmäistä selvemmin esille.

Alkukesän maan lämpö- ja kosteusoloilla näytti olevan merkittävämpi vaikutus neulasten fysiologisiin vasteisiin kuin talviaikaisilla maan lämpötiloilla. Käsittelyillä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta hienojuurten (juurten läpimitta alle 2 mm) biomassaan. Kun silmuja ja neulasia tutkittiin mikroskooppisesti, neulasten keskusherion pinta-ala jäi pienemmäksi ja verson kasvu oli heikompa roudan sulamisen viivästyessä. Viivästyminen vähensi terveiden silmujen kokonaismäärää ja osuutta ensimmäisen käsittelytalven jälkeisenä kesänä. Tästä seurasi, että seuraavana kesänä vuosikasvaimia oli vähän ja siis myös silmuja yhä vähemmän seuraavan vuoden kasvuun. Ensimmäisenä koevuonna maan pitkittetty routaantuminen ja hidas sulaminen viivästyttivät rungon paksuuskasvun alkua noin viikolla verrattuna kahteen muuhun käsittelyyn, joissa maan sulaminen ja lämpeneminen tapahtuivat aikaisemmin. Sen sijaan toisena koevuonna puiden paksuuskasvun ajoittumisessa ei ollut eroja käsittelyiden välillä. Käsittelyt eivät vaikuttaneet merkittävästi rungon uusien putkilosolujen muodostumisen eri vaiheisiin (jakaantuminen jällestä, laajeneminen ja soluseinän muodostuminen), eikä vuosilustojen leveyksiin ja tiheyksiin. Tutkimuksen johtopäätöksenä oli, että pitkällä aikajänteellä ja usein toistessaan lumettomuus voi heikentää puiden kasvua ja silmuvaurioiden seurauksena vähentää biomassan tuottoa. Erityisesti metsämaissa, joiden vedenpidätyskyky on suuri ja roudan muodostuminen täten voimakasta, ylläkuvattu tilanne ja sen seuraukset voivat olla mahdollisia. Lisäksi puulajit, joilla on pinnallinen juuristo, ovat erityisen alttiita roudan vaikutuksille.

### Talvitulvia tulevaisuudessa

Tulvien lisääntyminen voi olla yksi ilmaston ääri-ilmiöiden ilmenemismuoto tulevaisuudessa. Ilmastoennusteiden mukaan pohjoisilla leveysasteilla erityisesti talviaikainen sadanta tulee lisääntymään, mikä voi lisätä talvitulvien riskiä. Tulvia voi syntyä myös toistuvien lumen ja maan sulamis-jäätymisjaksojen, ja keväällä lumen nopean sulamisen seurauksena. Keväällä vesistötulvat ovat jo nykyilmastossa yleisiä.



**Kuva 2.** Ilmastonmuutos voi ohentaa lumipeitteen paksuutta ja siten lisätä maan routaantumista, mikäli talvipakkasia edelleen esiintyy. Kuvassa esitetään kaavamaisesti, miten itäsuomalaisessa kuusikossa toteutetut käsittelyt (lumenpoisto ja maanpinnan eristäminen) vaikuttivat maan routaantumiseen ja roudan sulamisajankohtaan, ja miten nämä tekijät vaikuttivat kuusen neulasiin ja versoihin. Käsittelyssä A lumipeite kehittyi ja suli luontaisesti. Käsittelyissä B ja C lumi poistettiin talven aikana ja lisäksi jälkimmäisessä maanpinta peitettiin eristeillä loppupalvesta kesään.

Tulva tai korkealle noussut pohjavesi alentaa maaperän happipitoisuutta, jolloin puiden juuriin syntyy happivaje eli hypoksia. Mikäli hypoksia pitkittyy kasvukauteen asti, se häiritsee tai vahingoittaa juurten elintoimintoja, vähentää kasvua ja pahimmillaan tappaa kasvin. Juurten mykorritsa-

symbioosi voi myös vahingoittua, mutta mykorritsienilajeilla näyttäisi olevan tulvankestävyyden suhteen eroja. Lisäksi maan mikrobitointia ja ravinnekierto häiriintyvät hapettomissa oloissa ja maan rakenteelliset ominaisuudet voivat muuttua. Myös siementen itävyys voi heikentyä vähähappis-

sa oloissa. Puulajeista mm. mänty, kuusi, rauduskoivu ja euroopanlehtikuusi kestävät huonosti tulvaa, kun taas hieskoivu, monet pajulajit ja lepät sietävät tulvaa varsin hyvin. Tulva voi siis suoranaisesti tuhahduttaa kasvua, mutta sen lisäksi se altistaa kasvit myös muille vauriotekijöille, kuten sienitaudeille tai alkukesän hallavaurioille.

Keväällä ennen kasvuun lähtöä puiden juurten joutuminen lyhyeksi aikaa veden alle ei yleensä ole haitallinen. Täysikasvuiset puut kestävät tulvaa paremmin kuin taimet, jotka voivat peittyä kokonaan veden alle. Puiden selviytymiskeinot tulvaoloissa voivat olla rakenteellisia, hapen saatavuutta ja kulkeutumista solukoissa edistäviä muutoksia, kuten korkkihuokosten, jälkijuurten tai tuuletussolukon muodostuminen. Kasvien fysiologinen sopeutuma on energian tuottaminen hapettomissa oloissa käymisen avulla, mutta tällöin kasviin voi kertyä haitallisia yhdisteitä.

Tulvan, maan pintaan syntyvän jääkerroksen ja pohjavedenpinnan nousun seurauksena maan ilmanvaihto heikkenee. Yleisesti arvellaan, että puut ovat alttiimpia tulvan haittavaikutuksille kasvukaudella kuin lepotilassa talvella, jolloin kasvien hapenkulutuskin on alhaisempi. Pohjoisten puulajien hypoksikestävyyden vuodenaikaisvaihtelua on kuitenkin tutkittu suhteellisen vähän. 1970-luvulla selvitettiin patoamiskokein korkean pohjavedenpinnan vaikutuksia männyn menestymiseen sekä tehtiin upotuskokeita männyn ja kuusen taimilla. Muutaman viikon kestänyt upotus oli haitallisinta juurten voimakkaimman kasvun aikana ja loppukesällä. Kuusen sietokyky oli mäntyä huonompi kasvukauden aikaiselle tulvitukselle. Talvella, virtaavaan veteen upotettuina männyn ja kuusen taimet kestivät juuriston veden alla olemista melko hyvin. Juuripaakkujen jäätyminen talviseen tulvaan yhdistettynä oli kuitenkin männyn taimille haitallista. Keväällä ja alkukesällä korkealla oleva pohjavesi voi olla hyödyksi silloin, kun alkukesä on kuiva ja lämmin. Dasotronikokeissa (Kuva 1) mänty ja rauduskoivut selvisivät lepokauden aikaisesta kuuden viikon tulvituksesta hyvin, kun maa jäätyn hitaasti tulvaveden lisäyksen jälkeen tai säilyi sulana koko talven. Sen sijaan veden lisäys jäätyneeseen maahan aiheutti juurivaurioita männyllä. Kun kastelu toistettiin useasti, vauriot olivat niin suuret, että yksi kasvukausi ei riittänyt niiden korjautumiseen.

Mikäli routaantumisen lisääntyminen ilmastomuutoksen seurauksena ja sulaminen pitkittyy pitkälle keväeseen ja alkukesään, haitalliset vaikutukset kasvuun ovat ilmeisiä. Lisäksi jos sulamisjäätymisjaksoit lisääntyvät, juuristovaurioiden riski myös lisääntyy, mikä puolestaan vähentää kasvua. Tulvat ja niiden lisääntyminen talvella ja erityisesti keväällä, jolloin uusi kasvu on kiihkeimmillään, voivat johtaa happivajeesta aiheutuvaan juurten vaurioitumiseen ja maanpäällisten kasvinosien kunnan heikkenemiseen.

## Kirjallisuutta

- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K. & Hirano, Y. 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 261: 265–277.
- Groffman, P.M., Driscoll, C.T., Fahey, T.J., Hardy, J.P., Fitzhugh, R.D. & Tierney, G.L., 2001. Colder soils in a warmer world: a snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem. *Biogeochemistry* 56: 135–150.
- Jyske, T., Manner, M., Mäkinen, H., Nöjd, P., Peltola, H. & Repo, T. 2011. The effects of artificial soil frost on cambial activity and xylem formation in Norway spruce. *Trees* (painossa). DOI 10.1007/s00468-011-0601-7.
- Lehto, T., Brosinsky, A., Heinonen-Tanski, H. & Repo, T. 2008. Freezing tolerance of ectomycorrhizal fungi in pure culture. *Mycorrhiza* 18: 385–392.
- Repo, T., Lehto, T. & Finér, L. 2008. Delayed soil thawing affects root and shoot functioning and growth in Scots pine. *Tree Physiology* 28: 1583–1591.
- Repo, T., Roitto, M. & Sutinen, S. 2011. Does the removal of snowpack and the consequent changes in soil conditions affect the physiology of Norway spruce needles? *Environmental and Experimental Botany* 72: 387–396.

■ FT Tapani Repo, FT Marja Roitto, FT Sirkka Sutinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimipaikka  
Sähköposti [tapani.repo@metla.fi](mailto:tapani.repo@metla.fi)