

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

MIL-kotisivu

Loppuraportti

Raportin sisältö

Lämpenevät talvet – riskejä metsäpuillemme?

Ilmaston lämpenemisen ennustetaan vaikuttavan erityisesti pohjoisen havumetsävyöhykkeen talvien sääoloihin: keskilämpötilat nousevat, talvisateet lisääntyvät, lumipeite ohenee ja routa vähenee. Lumipeite suojaa puiden juuria roudalta. Lämpeneminen voi muuttaa tilannetta, mikäli sadannan alueellinen ja ajallinen jakaantuminen sekä olomuoto muuttuvat.

Koska alhaisia pakkaslämpötiloja todennäköisesti esiintyy talvikuukausina myös tulevaisuudessa, routa tuskin häviää kokonaan. Talvisateen kulkeutuminen jäätyneeseen maahan voi lisätä maan routimista. Maan sulamis- ja jäätymissyklit voivat myös toistua useammin. Tulva, maan pintaan syntyvä jääkerros tai korkealle noussut pohjavesi heikentävät maan happitilannetta, mikä voi vahingoittaa juurten elintoimintoja.

Maaperäolojen talviaikaisilla muutoksilla on todennäköisesti vaikutuksia juuriin ja niiden kautta puiden kasvuun. Ilmastonmuutos ja juuret -tutkimuksessa tuotettiin uutta tietoa roudan, routimisen ja tulvan vaikutuksista puiden juurten ja verson toimintaan ja kasvuun. Tutkimuksessa käytetyt puulajit olivat mänty (*Pinus sylvestris* L.), kuusi (*Picea abies* (L.) Karst.), rauduskoivu (*Betula pendula* Roth) ja hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.). Tulosten perusteella arvioitiin puiden menestymistä muuttuvissa ilmasto-oloissa.

Yksittäisillä vähälumisilla talvilla vain vähän vaikutusta kuusten kasvuun

Tutkimuksessa selvitettiin lumipeitteen vähenemisen ja roudan lisääntymisen vaikutuksia puiden elintoimintoihin ja kasvuun. Tutkimusta varten itäsuomalaisessa kuusikossa järjestettiin koe, jossa routaoloja muutettiin keinotekoisesti. Koe toistettiin kahtena peräkkäisenä talvena, jotka poikkesivat sääoloiltaan toisistaan.

Tutkimustulosten perusteella voidaan arvioida, että yksittäiset vähälumiset talvet eivät liene kuusen kannalta ongelmallisia. Pitkällä aikajänteellä ja usein toistuessaan lumettomuus ja viivästynyt roudan sulaminen voivat heikentää puiden kasvua ja silmuvaurioiden seurauksena vähentää biomassan tuottoa. Erityisesti metsämaissa, joiden vedenpidätyskyky on suuri ja roudan muodostuminen täten voimakasta, ylläluvattu tilanne ja sen seuraukset voivat olla mahdollisia. Lisäksi puulajit, joilla on pinnallinen juuristo, kuten kuusi, ovat alttiita roudan vaikutuksille.

Puut kestivät talvitulvaa, mutta routiminen haitallista

Tutkimuksessa selvitettiin kammiokokeiden avulla, miten routa ja tulva sekä jäiseen maahan lisätty vesi jäätyessään vaikuttavat männyn ja rauduskoivun elintoimintoihin ja kasvuun. Männyn taimia kasteltiin jäiseen, sulavaan ja



Kuva: Metla/Erkki Oksanen

Lumimanipulaatiokoe kuusikossa

Kokeen käsittelyt: 1. normaali lumipeitteen kertyminen ja sulaminen, 2. lumikerroksen pitäminen muutamassa sentissä talven ajan ja sulaminen luontaisesti ja 3. lumen poistaminen talvella ja maanpinnan eristäminen keväästä kesään. **Päätulokset:**

- Roudan hidas sulaminen viivästytti hienojuurten kasvun käynnistymistä, mutta loppukesällä kasvu saavutti saman tason kuin kahdessa muussa käsittelyssä. Myöhempinä kasvukausina juuret kasvoivat jopa paremmin kuin kahdessa muussa käsittelyssä.
- Lyhytjuurten keskimääräinen elinaika oli käsittelystä riippuen 276–305 vrk ja pitkäjuurten 425–464 vrk. Humuskerroksen juuret olivat lyhytikäisempiä kuin syvemmällä kivennäismaassa. Juurten elinaika oli pisin käsittelystä 2.
- Uuden verson kasvu heikkeni, kun roudan sulaminen viivästyi. Samalla terveiden silmujen kokonaismäärä, osuus ja uusien vuosikasvainien määrä väheni. Versojen alentunut kasvu ja lukumäärän väheneminen vähentävät yhteyttävää neulaspinna-ala ja siten myös puun tuottoa.
- Maan hidas sulaminen viivästytti rungon paksuuskasvun alkamista ensimmäisenä vuonna noin viikolla, mutta toisena vuonna käsittelyjen välillä ei ollut eroja. Käsittelyt eivät vaikuttaneet uusien putkisolujen muodostumisen eri vaiheisiin (jakaantuminen jällestä,

sulaneeseen maahan lepokauden loppuvaiheessa. Jo kerran tehty kastelu jäiseen maahan aiheutti juurivaurioita.

Kun kastelu toistettiin kolmesti, juurivauriot olivat niin vakavia, että yksi kasvukausi ei riittänyt juuristovaurioiden korjaamiseen. Juurivaurioiden vuoksi taimien vedensaanti heikkeni, mikä näkyi vanhempien neulasten heikentyneenä vesitulana. Käsittelyjen jälkeisenä kasvukautena syntyneissä neulasissa todettiin rakenteellinen sopeutuma veden vähyyteen.

laajeneminen ja soluseinän muodostuminen), vuosilustojen leveyksiin eikä puun tiheyteen.

- Roudan hidas sulaminen lisäsi maan dityppioksidipäästöjä ja maahengitys lisääntyi kesä-heinäkuun aikana.

Toisessa kasvatuskammiokeessa tutkittiin 4-vuotiaiden mäntyjen vasteita lepokauden aikaisiin routa- ja tulvaoloihin. Maa joko jäädytettiin hitaasti ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) tai pidettiin sulana koko talven ($+2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Maaperän happitilanne huononi nopeasti tulvituksen seurauksena, mutta korjaantui pian kuusiviikkoisen tulvan päätyttyä. Tulvatalvea seuranneen kasvukauden lopussa hienojuurten kuivapainossa ei ollut eroja, mutta tulvan ja roudan yhteisvaikutus näkyi juurten pituuden ja juurtenkärkien lisääntymisenä ylimmässä humuskerroksessa ja vähenemisenä kivennäismaassa. Vaikka taimet selvisivät lepokauden tulvarasituksista, uusien neulasten kuivapaino jäi routataimilla alhaisemmaksi kuin sulassa maassa talvehtineilla taimilla. Tämä viittaa siihen, että energiavaroja käytettiin juurivaurioiden korjaamiseen verson kasvun kustannuksella.

Tulokset antavat viitteitä siitä, että talviaikainen sadanta jäiseen maahan ja siitä johtuva routiminen voi olla haitallista jopa isompien taimien kasvuun routaherkillä mailla. Männyn taimet kestävät lepokaudenaikaisia maaperän vähähappisia oloja ainakin muutaman viikon.

Routa ja tulva lisäävät ilokaasua maaperässä



Ilokaasun mittauslaitteistoa maastossa.
Kuva: Jukka Alm

Ilokaasua eli dityppioksidia ja metaania voi syntyä sopivissa olosuhteissa kuolleen eloperäisen aineksen hajotessa. Dityppioksidia muodostuu yleisesti runsasravinteisilla metsäojitusalueilla tai suosta raivatuilla turvepelloilla, ja sillä on voimakas lämmitysvaikutus ilmakehässä. Metaania muodostuu hapettomissa oloissa, esimerkiksi ojittamattomilla soilla tai järvien mutapohjissa. Veden kyllästämiä kosteikkoja kuivemmilla mailla metsämaan mikrobit kykenevät ottamaan ravinnokseen ilmakehän metaania, jolloin metaani hapettuu hiilidioksidiksi.

Tutkimuksessa seurattiin roudan ja tulvan vaikutuksesta tapahtuvaa metsämaan dityppioksidin ja metaanin muodostumista humuskerroksen alapuolella olevassa kivennäismaassa. Maastokokeessa viivästetyn routimisen havaittiin johtavan kivennäismaille epätyypilliseen dityppioksidipäästöön. Dityppioksidin muodostuminen liittyy havumetsävyöhykkeessä jäisen ja sulavan maan olosuhteisiin, mutta talvipäästöjen varsinaisten syiden selvittäminen vaatii vielä tutkimustyötä. Keski-Euroopassa talvipäästöjä ei esiinny merkittävästi.

Laboratoriokokeessa havaittiin vastaavanlainen ilmiö kuin routakokeessa maastossa. Routakäsittelyn aikana dityppioksidin muodostus kohosi välittömästi humuskerroksen alapuolella. Talviaikainen tulva puolestaan kohotti maaperän dityppioksidin pitoisuutta tulvaa seuraavan kasvukauden aikana. Samanaikaisesti routa- ja tulvakäsittelyille alistetut maaperät olivat aktiivisia dityppioksidin tuottajia sekä talven että kasvukauden aikana. Tulvivassa maassa happipitoisuus oli alhainen, millä näyttäisi olevan vaikutusta eloperäisen aineksen hajotusketjun toimintaan.

Metaanin hapettajat (metanotrofit) reagoivat välittömästi tulvan laskettua. Humuskerroksen lähellä metaanipitoisuus laski nopeasti ilmakehän pitoisuutta (1.8 ppm) alemmaksi aina 0.2 ppm saakka. Sama ilmiö havaittiin myös tulvimattomissa maissa, mutta niissä metanotrofian voimistuminen näytti selkeämmin liittyvän lämpötilan nousuun myöhemmin kasvukauden aikana.

Typen ohella dityppioksidin muodostukseen maaperässä vaikuttaa veteen liukenevien hiiliyhdisteiden laatu, jossa havaittiin muutoksia routa- tai tulvakäsittelylle altistuneissa maaperissä. Tehdyt kokeet eivät kuitenkaan välttämättä ennusta talvitulvien aiheuttavan voimakkaita dityppioksidipäästöjä, mutta asia vaatii seurantaa, koska kivennäismaiden dityppioksidipäästöt oletetaan nolaksi metsämaan kasvihuonekaasujen raportoinneissa.

Juurten vahingoittuminen ja kuoleminen tuo mikrobeille uutta hajotettavaa, ja voi vaikuttaa myös puun typenottokykyyn. Routa ja tulva lisäävät dityppioksidin muodostusta. Jos talviset tulvat ja routasyklit yleistyvät, havumetsävyöhykkeen metsämaan dityppioksidipäästöt voivat kasvaa. Maaperän ilokaasupäästön kasvaminen voi heikentää metsän suorituskykyä ilmastonmuutoksen torjunnassa.

Mykorritsoilla ei merkittävää vaikutusta pakkaskestävyyteen

Mykorritsarakenteen tiedetään olevan eduksi metsäpuiden taimille, koska se tehostaa kasvin ravinteidensaantia, lisää juuriston pinta-alaa ja ulottuvuutta sekä parantaa vastustuskykyä eräitä sienitauteja vastaan.

Mykorritsasienten itiöitä voidaan lisätä taimiin taimitarhalla. Toimenpiteellä varmistetaan mykorritsarakenteen muodostuminen. On myös esitetty, että joidenkin sienten muodostama mykorritsarakenne voisi edistää juurten pakkaskestävyyttä, mikä parantaisi taimien talvenkestävyyttä taimitarhoilla.

Tutkimuksessa selvitettiin mykorritsasienten kylmänkestävyyttä, ja mykorritsasieni-infektion ja ravinnepäsitelyn vaikutusta männyn juurten ja versojen kylmänkestävyyteen. Lisäksi tutkittiin karaisukäsittelyn vaikutusta mykorritsallisten ja mykorritsattomien taimien pakkaskestävyyteen.

Mykorritsalliset männyn juuret kestivät kylmiä lämpötiloja melko hyvin. Karaisukäsittelyn jälkeen lyhyessä päivässä ja matalassa lämpötilassa kasvaneiden taimien mykorritsattomat ja mykorritsalliset juuret kestivät -6.8 ja -7.5 °C. Pitkässä päivässä ja korkeassa lämpötilassa kasvaneilla taimilla vastaavat lukemat olivat -9.8 ja -8.9 °C.

Mykorritsakäsittely paransi hieman pitkässä päivässä ja korkeassa lämpötilassa kasvaneiden, matalan ravintetason taimien juurten pakkaskestävyyttä. Sen sijaan lyhyessä päivässä ja matalassa lämpötilassa kasvaneilla taimilla mykorritsalla ei ollut vaikutusta juurten pakkaskestävyyteen.

Lyhyessä päivässä ja matalassa lämpötilassa kasvaneiden taimien neulaset olivat kestävämpiä kuin pitkässä päivässä ja korkeassa lämpötilassa kasvaneiden taimien neulaset. Ravinnepäsitelyllä ei ollut vaikutusta juurten tai neulasten pakkaskestävyyteen. Mykorritsasienten kylmänkestävyyttä käsittelevien tulosten analysointi on kesken. Alustavien tulosten perusteella karaisukäsittely vaikutti taimien kylmänkestävyyteen.

Tutkimustulosten perusteella mykorritsakäsittelyllä ei näyttäisi olevan suurta vaikutusta juurten kylmänkestävyyteen ainakaan, mikäli taimella on muutoin saatavissa riittävästi ravinteita.

Juurten sähköiset ja hydrauliset ominaisuudet muuttuvat pakkasvaurioiden seurauksena



Kuva: Anna Korhonen

Tutkimuksessa kehitettiin juurten sähköisiin ja hydraulisiin ominaisuuksiin perustuva menetelmä, jolla voidaan seurata juuristovaurioiden aiheuttamaa juurten kasvua ja toiminnan muuttumista.

Juurten impedanssispektroskopian (EIS) kehitystyössä oli kaksi päätavoitetta: 1) Nesteviljelyssä kasvatettujen pajujen juuristomittaukset, sähkömallin kehittäminen ja mallin parametrien vertailu juuripinta-alan kanssa. 2) Perliitissä kasvatettujen, mykorritsallisten (*Hebeloma* sp. ja *Suillus luteus*) ja mykorritsattomien männyn taimien juuristomittaukset, spektrianalyysit, sekä karaisukäsittelyn ja pakkasvaurioiden vaikutusten selvittäminen. Juurten hydraulisen johtavuuden mittaamenetelmän (HPFM) kehitystyön tavoitteena oli selvittää, miten hydraulinen johtokyky muuttuu pakkasvaurioiden seurauksena.

Tulosten perusteella juuripinta-alalla oli vaikutusta EIS-menetelmällä laskettuihin tunnuksiin. Juuriston impedanssispektreissä havaittiin myös muutoksia pakkasvaurioiden, karaistumisen ja sieni-infektion seurauksena. Juurten hydraulinen johtokyky kasvoi jo suhteellisen lievän ja lyhytaikaisen pakkasaltistuksen seurauksena. Pakkaskäsiteltyjen taimien lisääntynyt johtokyky kontrollitaimiin

verrattuna indikoi juurten vaurioitumista.

Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää talvi- ja pakkasvarastoitujen taimien juuriston kunnon mittaamisessa. Tietoa tarvitaan, jotta voidaan tuottaa laadukasta taimimateriaalia koko kasvukauden jatkuviin istutuksiin.

Menetelmäkehityksestä ja juursitotutkimuksesta löytyy lisätietoa [Juuristolaboratorion www-sivuilta](http://www.sivuilla).

Kirjoittajat: *Tapani Repo, Jukka Alm, Anna Korhonen, Marja Roitto ja Sirkka Sutinen*

- Hankkeen vetäjä: vanhempi tutkija [Tapani Repo](#)
- Muut tutkijat: Arlena Brosinsky, Monica Calvo-Polanco, Yang Cao, Masako Dannoura, Leena Finér, Saori Fujii, Jaakko Heinonen, Helvi Heinonen-Tanski, Yasuhiro Hirano, Takuo Hishi, Tuula Jyske, Yoichi Kanazawa, Ekaterina Kapitsa, Yuji Kominami, Raija Laiho, Aurore Lavigné, Tarja Lehto, Lauri Leinonen, Naoki Makita, Marja Maljanen, Markku Manner, Pertti Martikainen, Mizoguchi, T., Harri Mäkinen, Kyotaro Noguchi, Pekka Nöjd, Mizue Ohashi, Harry Ozier-Lafontain, Marjo Palviainen, Paavo Pelkonen, Heli Peltola, Aija Ryyppö, Raimo Silvennoinen, Seija Sirkkiä, Ekaterina Shorohova, Ilkka Vanha-Majamaa, Ai-Fang Wang ja Janusz Zwiazek.
- Hanke 3489: [Ilmastomuutos ja juuret: Roudan ja tulvan vaikutus puiden kasvuun](#)
- [Hankkeen julkaisut](#)

[Takaisin raportin sisältöön](#)

[Sivun alkuun](#)

Tämän artikkelin pysyvä osoite on
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:metla-201210036198>