

Anneli Viherä-Aarnio ja Pirkko Velling

Rauduskoivun siemensiirrot Baltian maista Suomeen – vaikutus kasvuun ja rungon laatuun

Seloste artikkelista: Viherä-Aarnio, A. & Velling, P. 2008. Seed transfers of silver birch (*Betula pendula*) from the Baltic to Finland – effect on growth and stem quality. *Silva Fennica* 42(5):735–751.

Metsäpuiden siemensiirroilla etelästä pohjoiseen voidaan tietyissä rajoissa saavuttaa kasvunlisää, koska eteläisten alkuperien kasvujakso on pidempi kuin paikallisten. Osana Suomen ilmastonmuutoksen kansallista sopeutumisstrategiaa onkin ehdotettu viljeltäväksi jonkin verran eteläisempiä alkuperiä, jotka voisivat hyödyntää pitenevää kasvukautta paikallisia alkuperiä paremmin. Metsänviljelyaineiston vapaasta kaupasta EU:n sisällä saattaa seurata pyrkimyksiä tuoda maahamme myös kotimaista eteläisempää koivun siementä, esim. Baltian maista. Balttilaisten koivualkuperien menestymistä maassamme on kuitenkin tutkittu hyvin vähän, ja tutkimukset on tehty nuorilla taimilla. Koivun siemensiirtosäännöt perustuvatkin lähinnä etelä- ja keskisuomalaisen valittujen kantapuiden jälkeläiskokeista saatuihin tuloksiin, koska ei ole ollut käytettävissä tuloksia ulkomaisten koivualkuperien menestymisestä maassamme, eikä myöskään metsikköalkuperillä tehdyistä kokeista.

Tässä tutkimuksessa verrattiin kaupallisen ainespuun koon saavuttaneita balttilaisia ja kotimaisia rauduskoivualkuperiä sekä tutkittiin etelä-pohjoisuuntaisten siemensiirtojen vaikutusta niiden kasvuun ja rungon laatuun metsämaastoon perustetuissa kenttäkokeissa.

Tutkimuksen aineiston muodosti kaksi rauduskoivun provenienssikoetta, jotka sijaitsevat Tuusulas-

sa (leveysaste 60°21'N) ja Viitasaarella (63°11'N). Kokeet sisälsivät rauduskoivun metsikkösiemeneriä Latviasta (7 kpl), Virosta (2), Venäjältä (2) ja Etelä- ja Keski-Suomesta (6) sekä yksittäisten, valittujen kantapuiden vapaapölytys- tai risteytyssemeneriä Etelä- ja Keski-Suomesta (4) ja Liettuasta (1). Siemenerät olivat peräisin leveyspiirin 54°N ja 63°N väliseltä alueelta

Kokeet perustettiin kaksivuotiailla taimilla avohakatuille ja auratuille mustikka- ja käenkaali-mustikkatyyppin viljelyaloille keväällä 1981. Koejärjestelynä oli satunnaistettujen lohkojen koe. Kukin alkuperä istutettiin koeruutuihin neljälle lohkolle, satunnaistaen ruutujen paikat lohkon sisällä. Koeruudun koko oli Tuusulassa 25 tainta ja Viitasaarella 49 tainta. Istutustiheys oli molemmilla kokeilla 2 x 2 m. Kokeista mitattiin puiden pituudet ja läpimitat sekä laskettiin suhteellinen kapeneminen, elävyys, tuotos hehtaarikohtaisena kuutiomääränä ja runkoviallisten puiden osuus. Runkoviallisiksi luokiteltiin puut, joilla oli pääangan vahingoittumisesta johtuva poikaoksa tai haaroittunut runko. Mittaukset tehtiin puiden ollessa 22 vuoden ikäisiä. Aineisto analysoitiin lineaarisella sekamallilla, jolla tutkittiin siemenalkuperän leveysasteen sekä leveysasteissa mitatun siemenen siirtoetäisyyden vaikutusta koivujen elävyyteen, tuotokseen ja runkoviallisten puiden osuuteen.

Viitasaaren kokeessa Keski-Suomessa tuotokseltaan parhaita olivat eteläsuomalaiset alkuperät, kun taas balttilaiset alkuperät olivat huomattavasti kotimaisia heikompia. Tuusulan kokeessa korkein tuotos oli Viron ja Pohjois-Latvian alkuperillä sekä eteläsuomalaisen kantapuiden jälkeläistöillä, ja pienin tuotos keskisuomalaisella (Pielavesi) alkuperällä. Runkoviallisten puiden osuus oli molemmissa kokeissa keskimäärin sitä suurempi mitä eteläisempi alkuperä oli kyseessä. Etelästä pohjoiseen tai pohjoisesta etelään tehdyn siemensiirron pituus vaikutti merkittävästi alkuperien elävyyteen, tuotokseen ja runkoviallisten puiden osuuteen. Runko-

viallisten puiden osuus kasvoi suoraviivaisesti samalla kun siemenen siirtoetäisyys etelästä kasvoi. Elävyyden ja tuotoksen suhde siirtoetäisyyteen oli käyräviivainen. Tuotos lisääntyi jonkin verran siirtämällä siementä etelästä pohjoiseen enintään noin kahden leveysasteen (n. 220 km) etäisyys. Pidempi siirto etelästä pohjoiseen, samoin kuin siirto pohjoisesta etelään heikensi tuotosta. Siirtoetäisyys selitti vain osan tarkastelluissa ominaisuuksissa esiintyvistä vaihtelusta, sillä myös muut tekijät, esim. kasvupaikkavaihtelu, vaikuttavat rauduskoivun menestymiseen.

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan eteläisimmässä osassa Suomea lisätä rauduskoivun tuotosta käyttämällä viljelyssä Virossa tai Latvian pohjoisosista peräisin olevia siemenalkuperiä, mutta samalla runkoviallisten puiden osuus kasvaa. Keski-Suomessa balttilaiset alkuperät eivät menesty. Eteläisten alkuperien tiedetään aiempien tutkimusten perusteella jatkavan kasvuaan syksyllä myöhempään kuin paikallisten, ja niiden heikompi rungon laatu johtuikin todennäköisesti altistumisesta pakkasvaurioille myöhemmän talveutumisen vuoksi. Siemensirroilla pohjoisesta etelään voidaan puolestaan parantaa jonkin verran rungon laatua, mutta samalla tuotos heikkenee. Eteläsuomalaisten valittujen kantapuiden jälkeläistojen tuotos oli Tuusulassa samaa tasoa kuin Baltiasta siirrettyjen alkuperien, mutta Viitasaarella nämä jälkeläistöt olivat huomattavasti parempia kuin balttilaiset alkuperät. Ulkomaisen viljelyaineiston tuontiin ei siten ole syytä, koska hyväkasvuisia ja -laatuisia kotimaisia siemenviljelys- ja metsikköalkuperiä on runsaasti saatavilla.

■ MML Anneli Viherä-Aarnio, MMT Pirkko Velling, Metla, Vantaan toimintayksikkö.
Sähköposti anneli.vihera-aarnio@metla.fi

Annika Kangas, Ruut Haapakoski ja
Liisa Tyrväinen

Paikkaan sidottujen sosiaalisten arvojen käyttö metsäsuunnittelussa – tapaustutkimus UPM-Kymmeneen metsissä Hyrynsalmella

Seloste artikkelista: Kangas, A., Haapakoski, R. & Tyrväinen, L. 2008. Integrating place-specific social values into forest planning – Case of UPM-Kymmene forests in Hyrynsalmi. *Silva Fennica* 42(5): 773–790.

Osallistavassa metsäsuunnittelussa on tärkeää tietää mitä arvoja suunnittelun kohteena olevaan alueeseen ihmisten mielissä liittyy. Tyypillisesti osallistavassa suunnittelussa kerätään tietoja erilaisissa asukas- tai tupailloissa tai postikyselyinä. Kysymykset voivat olla joko paikkaan sidottuja, jolloin ne kuvaavat tiettyjen kohteitten arvostusta, tai ne voivat koskea asukkaiden yleisiä metsäarvostuksia. Tietojen keräämisessä sovellettu menetelmä voi vaikuttaa tuloksiin, sekä myös tulosten käyttökelpoisuuteen metsäsuunnittelun lähtötietona. Sosiaalisten arvojen kartoitus on aiemmin puistojen ja kaupunkien viheralueitten suunnittelussa käytetty menetelmä. Viheralueiden tapauksessa vastaajat ovat liittäneet nimettyihin puistoihin ja viheralueisiin annettuja positiivisia ja negatiivisia arvoja, kuten esimerkiksi rauha ja hiljaisuus, metsän tuntu, kaunis maisema, toimintamahdollisuudet ja meluisuus. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli 1) testata sosiaalisten arvojen kartoitusmenetelmää talousmetsien käytön suunnittelussa 2) verrata paikkaan sidottuun ja yleisempien metsäarvostuksia kuvaavan tiedon etuja ja haittoja suunnittelun kannalta ja 3) verrata asukasiloista ja postikyselystä saadun tiedon käyttökelpoisuutta metsäsuunnittelussa.

UPM-Kymmenellä on Hyrynsalmella taajaman ympäristössä neljä palstaa, yhteensä yli 900 hehtaaria. Tässä tapaustutkimuksessa Hyrynsalmen asukailta kysyttiin näihin metsiin liittyviä arvoja sekä asukasillalla että satunnaisesti valituille asukkaille

ja kaikille kunnanvaltuutetuille lähetetyssä postikyselyssä. Vastaajien määrä oli tutkimuksessa melko pieni: asukasiltaan osallistui 20 henkilöä, joista 6 kunnanvaltuutettua ja postikyselyyn vastasi 47 satunnaisesti valittua asukasta ja 6 kunnanvaltuutettua.

Asukasillassa ja postikyselyssä kysyttiin sekä yleisiä metsään liittyviä arvoja että paikkaan sidottuja metsäarvoja. Yleiset metsään liittyvät arvot jaoteltiin virkistykseen, kulttuuriin ja opetukseen, työllisyyteen, aluetalouteen ja ekologiaan liittyviksi arvoiksi. Paikkaan sidottuja metsäarvoja tutkittiin antamalla vastaajien itse rajata annetulle kartalle alueet, joissa heidän mukaansa esiintyi annettuja sosiaalisia arvoja. Näin meneteltiin siksi, että talousmetsien kuvioita oli tarkastellulla alueella erittäin paljon, ja niiden tunnistaminen erillisiksi alueiksi olisi voinut olla ylivoimaista. Annetut arvot olivat kaunis maisema, keräilyalue, historia ja kulttuuri, hieno luontokohde, suosikkimetsä, elämymetsä ja epäviihtyisyys.

Vaikka sekä asukasiltaan osallistuneet, postikyselyyn vastanneet satunnaisesti valitut asukkaat että kunnanvaltuutetut voivat sanoa edustavansa asukkaiden mielipidettä, vastaajien arvoissa oli tilastollisesti merkitseviä eroja. Postikyselyyn vastanneet satunnaisesti valitut asukkaat arvostivat eniten virkistysarvoja kun taas kunnanvaltuutetut ja asukasiltaan osallistuneet arvostivat eniten työllisyyttä ja aluetaloutta. Ekologiset arvot olivat tutkituista arvoista vähiten tärkeitä kaikissa kolmessa ryhmässä. Eroja oli myös siinä, että asukasiltaan osallistuneet tunsivat oman arvionsa mukaan alueet paremmin kuin postikyselyyn vastanneet. Jos osallistamisella haetaan asukkaiden keskimääräisiä arvoja, on satunnaisotokseen perustuva kyselytutkimus parempi. Jos taas halutaan kerätä asukkaiden tietoja arvokkaista alueista, on asukasilta vastaavasti parempi menetelmä.

Osallistujien rajaamat alueet hajosivat melko tasaisesti koko tutkimusalueelle, vain taajamaa lähinnä sijaitsevalle palstalle tuli selkeitä arvokeskittyksiä. Suurimmalla osalla metsistä oli siis sosiaalista arvoa ainakin joillekin vastaajille, ja myös yksittäiset rajatut alueet olivat melko suuria. Tämä kertoo siitä, että sosiaalisten arvojen kartoitus on talousmetsissä ja laajoilla alueilla vaikeampaa kuin erillisissä puistoissa. Puistot ovat myös ihmisille tutum-

pia kuin normaalit talousmetsäkuviot. Menetelmä soveltuukin parhaiten asukkaiden hyvin tuntemille ja heitä lähellä sijaitseville alueille. Asukkaille tärkeimmät kohteet voitiin silti havaita talousmetsistäkin kohtuullisella tarkkuudella.

■ Prof. Annika Kangas, MMM Ruut Haapakoski, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos; prof. Liisa Tyrväinen, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemi.
Sähköposti annika.kangas@helsinki.fi

Ilkka Korpela, Tuukka Tuomola,
Timo Tokola och Bo Dahlin

Inventering av plantskog med laserscanning och digitalt flygfoto

Referat av artikeln: Korpela, I., Tuomola, T., Tokola, T. & Dahlin, B. 2008. Appraisal of seedling stand vegetation with airborne imagery and discrete-return LiDAR – an exploratory analysis. *Silva Fennica* 42(5): 753–772.

Applikationer som baserar sig på laserscanning har fått en ökande betydelse vid inventering av gallrings- och slutavverkningsskogar i Skandinavien. Kombinerad användning av flygfoton och laserscanning har studerats för att förbättra skattningen av virkesförrädsvariabler för olika trädslagsgrupper. Hittills har dock få forskare visat intresse för metodutveckling för plant- och ungsskogar. Vårt mål har varit att utreda vilka egenskaper i data från laserscanning och digitala flygfoton, som bäst beskriver variabler som är viktiga för skogsvårdsbeslut i plant- och ungskogsbestånd. Vi inventerade träd-, busk- och fältvegetation på provytor i 6 bestånd och bestämde positionerna av fältobjekten med en noggrannhet på centimeter nivå, för att kunna koppla fält- och fjärranalysobservationer med minsta möjliga geometriska fel. Laserscanningen gjordes från 1 km flyghöjd och för analyser som gällde växt-

lighet, använde vi data som hade 6–9 pulser per kvadratmeter. Flygfoton togs också från 1 km med en digital Vexcel UltraCAM D kamera. Dess RGBIR-foton (röd, grön, blå, nära infraröd) hade en upplösning av 0,27 m. Experimentet utfördes i Hyytiälä, Juupajoki kommun i södra Finland.

I allmänhet, begränsar höjdmodellen användningen av 3D fjärranalysmetoder eftersom den alltid är inexact och växtligheten i plantskogar är låg. Vi skapade fem olika terrängmodeller baserade på varierande täthet av laserpulser på 1–15 per kvadratmeter. Precisionen (RMSE) var 0,22–0,30 m, beroende på tätheten. Modellerna överskattade marknivån med 0,08–0,21 m.

Vi studerade också med vilken noggrannhet laserscanning kan användas för att mäta topphöjden av växtligheten. Underskattning var den allmänna iakttagelsen, men den varierade mellan arter och var minst för storbladiga växter, till exempel gråal och hallon. Precisionen varierade också mellan växt- och trädarter och variationskoefficienterna var 15–40 %.

Vi klassificerade växtlighet som är typisk för plantskogar med data från flygfoton och laserpunktmoln. Sammanlagt 27 olika arter eller objekt togs med och dessa slogs sedan ihop till en praktisk klassificering som innehöll fyra kategorier: barrträd, lövträd, övrig växtlighet och abiotiska objekt. Noggrannheten vid klassificeringen varierade från 61 % till 79 % mellan olika bestånd och den lyckades också väl på ytor som var beskuggade i foton. Skuggor skapar

normalt stora problem vid optisk fjärranalys, men laserscanning och NDVI (normalized difference vegetation index) i digitala flygfoton påverkades inte markant av beskuggning.

Vi presenterar också resultat från en analys där plantskogen visas i form av ett tätt raster av de fyra klasserna. En rastermodell kan vara till hjälp vid beslutsfattandet om nödvändig skötsel och med den kan beståndet också delas upp så att olika delar åtgärdas på olika sätt.

Resultaten pekar på att laserscanning och modern flygfotografering kan bjuda på möjligheter också inom inventering av plantskogar, även om de yngsta och minsta bestånden utgör en viss utmaning. Samtidigt skall påpekas att detta experiment inte var särskilt omfattande vad gäller fjärranalys eller fältmaterial. Effekter av laserpulstäthet och upplösning av flygfoton granskades inte närmare och vi använde fjärranalysmaterial som kostar 3–4 €/ha. För fortsatt forskning och metodutveckling kan utnyttjande av förhandsuppgifter ge bättre precision vid utnyttjande av fjärranalys i plantskogar. Som exempel kan skillnader i höjdtillväxthastighet mellan barr- och lövträd vara till hjälp samt uppgifter om tidigare skogskötsel.

■ AFD Ilkka Korpela, AFM Tuukka Tuomola, Docent Timo Tokola och Prof. Bo Dahlin, Helsingfors Universitet, Institutionen för utnyttjandet av skogstillgångar.
E-post ilkka.korpela@helsinki.fi

Mikko Räisänen

Kuusen karaistuminen boorinpuutoksessa

Seloste väitöskirjasta: Räisänen, M. 2008. Kuusen karaistuminen boorinpuutoksessa. *Dissertationes Forestales* 75. <http://www.metla.fi/dissertationes/df75.htm>

Boorinpuutos on Suomessa yleinen ongelma tuottoisimmilla kuusikoilla. Sahapuoksi kelpaavan puun osuus voi vähentyä boorinpuutoksen vaivaamissa kuusikoissa huomattavasti. Sekä yleisyytensä että aiheuttamiensa kasvutappioiden vuoksi boorinpuutos on ollut ja on edelleen tärkeä tutkimuskohde.

Kärkikasvaimien kuoleminen boorinpuutoksessa on kiinnostanut tutkijoita usean vuosikymmenen ajan. Aiemmin on esitetty, että boorilannoitetuissa puissa ei olisi pakkasvaurioita yhtä paljon kuin boorilannoittamattomissa puissa. Näissä tutkimuksissa tai raporteissa ei kuitenkaan ole ollut tarkkaa kuvausta vaurioista tai puiden boorilasta. Vaikka heikentynyt pakkaskestävyys liitetään usein boorinpuutoksen aiheuttamiin latvakuolemiin, boorin vaikutusta pakkaskestävyyteen ei ole aiemmin tutkittu mittaamalla boorilannoitettujen ja boorinpuutoksessa elävien puiden pakkaskestävyyttä. Tutkimuksen hypotesina oli, että boorinpuutos heikentää kuusen silmujen, neulasten ja rangan karaistumista ja että karaistuminen parantuisi boorilannoituksen avulla.

Tutkimusta varten perustettiin maastokoe, jossa 144 matalassa boorilassa kasvanutta kuusta (*Picea abies* L. Karst) lannoitettiin tyvellä ja boorilla. Koeasetelma oli yksinpuin lannoituksilla toteutettu faktoriaalinen koe. Koepuista kerättyjen silmu-, neulas-, ranka- ja juurinäytteiden pakkaskestävyyttä mitattiin yhden, kolmen ja viiden kasvukauden jälkeen lannoituksista. Lisäksi kerättiin silmunäytteitä kolmesta lannoittamattomasta metsiköstä, joissa kasvuhäiriöisten puiden osuus vaihteli 0–90 % välillä. Boorin vaikutusta pakkaskestävyyteen tutkittiin

myös taimikokeella. Kuusen taimia kasvatettiin siemenestä kaksi kasvukautta kolmella eri booritasolla. Taimet karaistiin peräkkäisten lyhytpäiväjakson, matalalämpötilajakson ja pakkaajakson aikana. Pakkaskestävyys mitattiin kaikista kasvinosista kasvukauden aikana ja jokaisen karaisujakson jälkeen.

Pakkaskestävyyttä tutkittiin pakkasaltistamalla silmu-, ranka-, neulas- ja juurinäytteitä ja arvioimalla syntyvät vauriot ionivuototestillä tai visuaalisen vauriotarkastelun avulla. Silmujen pakkaskestävyyttä tutkittiin lisäksi eksotermimittausten avulla. Eksotermimittauksessa silmun tappava jäätyminen havaitaan nopean jäätyksen synnyttämän lämpöpurkauksen eli eksotermien avulla. Taimikokeessa rangan karaistumista seurattiin myös mittaamalla rangan sähköistä impedanssia eli vaihtovirtavastusta.

Maastokokeessa pakkaskestävyys ei parantunut boori- tai typpilannoituksella verrattuna puihin, joiden booritila vaihteli puutuksesta lähes optimaaliseen. Kasvuhäiriöisten puiden epämuodostuneet silmut eivät kuitenkaan alijäähtyneet kuten terveen näköiset silmut, vaan silmun tuhoava jäätyminen saattoi tapahtua jo silmunäytteen jäähtyttyä muutamaa pakkasasteeseen.

Maastokokeesta kerättyssä aineistossa havaittiin, että silmun pakkaskestävyys muuttuu erittäin nopeasti silmun sulamisen ja jäätyksen mukaan. Tämä tulee ottaa huomioon kuusen silmujen pakkaskestävyyttä mitattaessa.

Taimikokeessa rangan ja silmun pakkaskestävyys, ja todennäköisesti myös taimien kestävyys pakkas-kuivumista vastaan, oli heikompi booripuutoksessa eläneillä taimilla. Boorinpuutos heikensi myös hieman neulasten kasvukauden aikaista pakkaskestävyyttä.

Booripuutos heikentää kuusen rangan ja kasvainsilmun pakkaskestävyyttä, kun booritila on selvästi puutosrajan alapuolella. Koska boorinpuutos vaikutti pakkaskestävyyteen vain pienessä osassa aineistoa ja hyvin matalalla booritasolla, ei boorinpuutoksen lisäämä pakkasvaurioriski ole todennäköisesti tärkein tai ainoa kasvuhäiriöille altistava tekijä.

■ MMT Mikko Räisänen.

Sähköposti mikko.raisanen@faforest.fi

Liisa Huttunen

Ilmastomuutoksen ja hyönteis-herbivorian vaikutukset rauduskoivun kasvuun ja lehtien ominaisuuksiin

Seloste väitöskirjasta: Huttunen, L. 2008. Effects of climate change and simulated herbivory on growth responses and leaf characteristics of silver birch (*Betula pendula*) seedlings. Dissertations Forestales 76. <http://www.metla.fi/dissertations/df76.htm>

Lämpenevä ilmasto ja leudontuvat talvet altistavat pohjoisen metsäkasvillisuuden lisääntyville tuhohyönteiskannoille. Kuitenkin esim. lehtipuut voivat säilyä elinvoimaisina kasvinsyöjien eli herbivorien aiheuttaman lehvästövaurion jälkeen. Tämän mahdollistaa puiden oletettavasti parantunut kyky toipua lehtibiomassan menetyksestä korvaavan eli kompensatiokasvun avulla ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Kompensatiolla tarkoitetaan kasvien kykyä lisätä vaurionjälkeistä kasvua ja/tai siementuotantoa. Varsinkin heinävirtien kasvien kyky sieittää biomassansa menetyksestä paranee lämpenevässä ilmastossa tai kohonneessa hiilidioksidipitoisuudessa, sillä nämä tekijät kiihdyttävät kasvien aineenvaihduntaa, kuten yhteytystehokkuutta. Aikaisemmin oletettiin, etteivät varsinkaan puuvartistet kasvit voisi toipua lehvästövauriosta paljaaksisyönnin jälkeen. Kuitenkin ilmastomuutoksen myötä kiihtynyt aineenvaihdunta ja nopeutunut lehtien uudelleenpuhkeaminen voi parantaa yhteytyksen tuloksena syntyvien hiilihydraattien ohjautumista kasvuun. Lisäksi kohonnut lämpötila voi nopeuttaa karikkeen hajoamista maaperässä ja parantaa siten kasvien ravinteiden saatavuutta ja näin ollen kasvua.

Vaurioitettuna kasvit voivat tuottaa kemiallisia yhdisteitä, jotka toimivat karkotteina tai ovat myrkyllisiä eri kasvinsyöjille. Esimerkiksi tunturikoivulla liukoisten kemiallisten yhdisteiden pitoisuudet (fenolit ja näistä esim. flavonoidit, kuten kversetiini, tai polyfenolit, kuten tanniini) ovat kohonneet uudelleenpuhjenneissa lehdissä hyönteisten aiheuttaman paljaaksisyönnin jälkeen. Lehvästövaurio voi myös

aiheuttaa muutoksia puhkeavien lehtien rakenteessa eli morfologiassa, kuten ominaislehtimassassa (Specific Leaf Weight, SLW, mg mm^{-1}), jolla kuvataan lehden paksuutta ja kovuutta. Niin ikään lehtien rakenteeseen ja fenolisten yhdisteiden tuotantoon vaikuttavat ravinteiden saatavuus ja ilmasto-olosuhteet. Lämpenevän ilmaston tai kohonneen hiilidioksidipitoisuuden on todettu lisäävän lehtien liukoisten fenolisten yhdisteiden pitoisuuksia ja/tai muuttavan niiden soluseinämän rakennetta vaikuttaen lehtien paksuuteen. Lisääntyneen ravinteiden saatavuuden on puolestaan todettu vähentävän fenolisten yhdisteiden pitoisuuksia lehdissä.

Lehtien fysiologiset ja morfologiset ominaisuudet säätelevät niiden hajoamista ja siten ravinteiden kiertoa maaperässä. Lehtikarikkeen on todettu hajoavan sitä nopeammin mitä vähemmän liukene mattomia hiilipitoisia yhdisteitä (esim. tanniini ja ligniini) soluseinämässä on ja toisaalta mitä enemmän tyyppiä siinä on. Ilmastomuutoksen eli kohonneen hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan vaikutukset voivat näin ollen ulottua maaperäprosessienkin toimintaan, sillä suuremmat soluseinämän liukenemattomien yhdisteiden määrät karikkeessa voivat hidastaa tai jopa estää maaperäeliöiden hajoustoimintaa.

Kuten mainittu, hyönteistuhoriskin oletetaan kasvavan muuttuvassa ilmastossa, jolloin lehvästövaurion aste sekä ympäristötekijät voivat vaikuttaa kasvien kompensatiokasvuun ja toisaalta puolustavien kemiallisten yhdisteiden tuotantoon. Koska kasvien kasvun edellytyksenä on riittävä ravinteiden saatavuus, kasviperäisen orgaanisen aineksen (esim. tyypipitoisten yhdisteiden) hajoamisnopeus maaperässä vaikuttaa välillisesti puiden kykyyn kompensoida kasvuaan ja siten toipua tuhosta. Tässä väitöskirjatyössä arvioitiin ilmastomuutoksen vaikutuksia rauduskoivun kykyyn korvata menetetty lehtibiomassa kompensatiokasvun avulla. Työssä tarkasteltiin mekaanisesti vaurioitettujen taimien pituus- ja biomassan kasvua, sekä vaurioituksen jälkeen puhjenneiden lehtien rakenteellisten ja kemiallisten ominaisuuksien muutoksia. Lisäksi työssä tutkittiin ilmastomuutoksen vaikutusta koivun lehtikarikkeen ominaisuuksiin ja niistä johtuvaan hajoamisnopeuteen.

Tutkimusaineistona käytettiin 1–2 vuotiaita rauduskoivun metsäpuutaimia, jotka altistettiin neljäl-

le eri ilmastokäsittelylle kahden kasvukauden ajan. Ilmastokäsittelyt koostuivat vallitsevasta (360 ppm) tai kaksinkertaistetusta (720 ppm) hiilidioksidipitoisuudesta ja luontaisesti vaihtelevasta tai ensimmäisellä kasvukaudella 2°C ja toisella 5°C tätä korkeammasta lämpötilasta, sekä mainittujen hiilidioksi- ja lämpötilakäsittelyiden kombinaatioista. Eri tavoin ilmastokäsittellyt taimet jaettiin edelleen lannoitekäsittelyihin, joissa tyyppiä (N) lisättiin 0, 130, 150, 270 tai 500 kg N ha⁻¹ vuosi⁻¹. Kaiken kaikkiaan tutkimukseen oli varattu 3456 tainta.

Ilmastokäsittelyiden ja lehvästövaurion vaikutusta koivun kasvuun ja kemiallisten yhdisteiden (eri fenoliset yhdisteet, kuten tanniini) tuotantoon selvittävässä tutkimuksessa hyönteisherbivorien syöntiä simuloitiin repimällä eri tavoin käsiteltyjen taimien lehtiä ensimmäisellä kasvukaudella. Hyönteisten aiheuttamaa lehvästövauriota jäljiteltiin poistamalla 0, 25, 50 tai 75 % taimien kokonaislehtipinta-alasta. Käsiteltyjen taimien määrät eri vauriotasoilla kutakin lannoite- ja ilmastokäsittelykombinaatiota kohti olivat 84, 96, 96 ja 12. Pituus- ja biomassankasvua seurattiin satunnaisesti valituista otostaimista (12 tainta kutakin käsittelykombinaatiota kohti) ensimmäisen ja toisen kasvukauden ajan.

Ensimmäisellä kasvukaudella pari viikkoa vaurioiduksen jälkeen taimista kerättiin lehtinäytteitä kemiallista analyysiä varten. Näytelehdistä analysoitiin niiden kokonaistyyppi- ja hiilipitoisuudet, sekä joukko fenolisia yhdisteitä (flavonoideja ja flavonoleja). Myös lehtien rakenteellinen kovuus määritettiin laskeamalla niiden ominaislehtimassa (mg mm⁻¹). Lisäksi lehtien kelpaavuusastetta idänlehtikuoriaisille (*Agelastica alni*) tutkittiin lehvästövaurion jälkeen puhjenneista lehdistä ns. valintakokeessa. Tuolloin kuoriaisten annettiin syödä lehtiä 24 h, jonka jälkeen määritettiin kuoriaisen syömä absoluuttinen lehden kuivamassa.

Eri lannoite- ja ilmastokäsittelykombinaatioissa kasvaneiden, vaurioittamattomien rauduskoivun taimien lehtikarikkeen hajoamisnopeutta maaperässä tutkittiin neljän vuoden ajan. Ensiksi osasta karikenäytteitä mitattiin kokonaishiili-, typpi- ja tanniinipitoisuudet hajoamista selittäviksi tekijöiksi. Sen jälkeen yhteensä 336 karikepussia sijoitettiin mineraalimaakerroksen päälle metsittyneelle niittymaalle. Karikepussien annettiin peittyä ympäröivästä kasvillisuudesta varisevien lehtien ja syksyllä ku-

loutuvan heinän alle. Lehtikarikkeen massahäviö mitattiin kahdesti vuodessa, keväällä ja syksyllä.

Kohotetuissa CO₂-pitoisuudessa ja lämpötilassa kasvaneet yksivuotiaat rauduskoivun taimet toipuvat 25 %:n lehvästövauriosta nopeammin kuin vallitsevissa CO₂-pitoisuudessa ja lämpötilassa kasvaneet kontrollitaimet. Nämä taimet jopa ylikompensoivat pituus- ja biomassan kasvua verrattuna kontrollitaimiin. Ero taimien kokonaisbiomassassa oli jopa 40 %. Lisäksi kohotetuissa CO₂-pitoisuudessa ja lämpötilassa kasvaneiden yksivuotiaiden, 25 % vaurioitettujen taimien biomassa oli 20 % suurempi kuin samoissa ilmasto-olosuhteissa kasvaneilla vaurioittamattomilla taimilla. Lehvästövauriota seuraavan kasvukauden aikana 25 % lehtipinta-alastaan menettäneet taimet eivät kyenneet samankaltaiseen vuotuisen biomassan ja pituuskasvun lisäykseen kuin ensimmäisellä kasvukaudella. Sen sijaan edellisvuotena 75 % vaurioitettujen taimien pituuskasvun lisäys saattoi olla jopa kaksinkertainen edellisvuotiseen kasvuun verrattuna. Tämänkaltainen vuosikasvu oli havaittavissa etenkin kohotetussa lämpötilassa kasvatetuilla lannoitetuilla taimilla.

Lehtien fenolisten yhdisteiden pitoisuudet olivat 2–25 % pienempiä vaurioitetuissa taimissa kaikissa ilmastokäsittelyissä. Näiden yhdisteiden pitoisuudet eivät kuitenkaan vaikuttaneet lehtien kelpaavuuteen idänlehtikuoriaisille. Kelpaavuuden todettiin olevan pienin kohotetussa lämpötilassa kasvaneiden lannoitettujen taimien lehdillä. Todennäköisesti lehtien kelpaavuuteen on eniten vaikuttanut niiden rakenteellinen kovuus (mg mm⁻¹), jonka on todettu korreloivan matalan vesi- ja korkean kuitupitoisuuden kanssa.

Kohotetulle lämpötilalle altistettujen rauduskoivun taimien lehdet hajosivat hitaammin kuin vallitsevassa lämpötilassa kasvaneiden kontrollitaimien. Syy hitaampaan hajoamiseen voi olla korkeampi hiilipitoisten yhdisteiden (esimerkiksi ligniini) määrä kohotetulle lämpötilalle altistuneiden lehtien soluseinämissä.

Kohonnut ilmakehän CO₂-pitoisuus ja lämpötila sekä lisääntynyt ravinteiden saatavuus näyttäisivät kiihdyttävän vaurioitettujen rauduskoivun taimien pituus- ja biomassan kasvua. Onkin odotettavissa, että ilmaston muuttuessa kasvulle suotuisammaksi, esim. vuotuisen lämpösumman kohotessa, koivujen kyky toipua lehvästötuhosta paranee. Tämän mah-

dollistaa vilkastunut yhteytystehokkuus ja käytettävissä olevan hiilen ja ravinteiden ohjautuminen ensisijaisesti kasvuun ja vasta toissijaisesti hiilipitoisten kemiallisten yhdisteiden tuotantoon. Tämän seurauksena rauduskoivu voi joutua herkemmin puulajille erikoistumattomien hyönteislajien syömäksi jopa lehdettömäksi. Toisaalta kohonneen lämpötilan myötä lehtien rakenteellisissa ominaisuuksissa tapahtuva muutos näyttäisi heikentävän niiden kelpaavuutta hyönteisille. Kohonnut soluseinämän ligniinipitoisuus lehdissä näyttäisi myös hidastavan niiden hajoamisnopeutta. Hidastunut lehtikarikkeen hajoaminen voi osaltaan heikentää ravinteiden kiertoa boreaalisissa lehtimetsissä tulevaisuuden olosuhteissa.

■ MMT Liisa Huttunen, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti liisa.huttunen@joensuu.fi