

Pedro J. Aphalo, Markku Lahti, Tarja Lehto, Tapani Repo, Aino Rummukainen, Hannu Mannerkoski ja Leena Finér

Alhainen maan lämpötila rajoittaa rauduskoivun kasvua

Seloste artikkelista: Aphalo, P.J., Lahti, M., Lehto, T., Repo, T., Rummukainen, A., Mannerkoski, H. & Finér, L. 2006. Responses of silver birch saplings to low soil temperature. *Silva Fennica* 40(3): 429–442.

Maan lämpötiloja ei voi aina suoraviivaisesti ennustaa ilman lämpötilojen perusteella. Routaa esiintyy Itä-Suomessa vähemmän kuin Etelä- ja Länsi-Suomessa runsaan lumipeitteen vuoksi, vaikka Itä-Suomessa ilman lämpötila on alempi talvella. Ennustettu talvilämpötilojen nousu vähentää lumipeitettä ja lisää roudan esiintymistä, mistä seuraa maan lämpötilan aleneminen keväällä. Toisaalta ilmaston lämpenemisen seurauksena maan

lämpötila voi kohota kasvukauden aikana nykyistä korkeammaksi.

Tulevaisuuden ilmastossa eri kasvutekijät eivät välttämättä korreloi toistensa kanssa samalla tavalla kuin tällä hetkellä, ja kokeellisella tutkimuksella voidaan selvittää puiden menestymistä uusissa olosuhteissa. Joensuun dasotronit ovat erikoisvalmisteisia kasvukammioita, joissa ilman ja maan lämpötilaa voidaan säädellä erikseen, samoin kuin valotasoa, päivänpituutta ja ilman kosteutta. Erikoisuutena on, että kasvatusastioiden ja kammioiden suuren koon vuoksi niissä voidaan kasvattaa kaksimetrisiä taimia useiden kasvukausien pituisissa kokeissa.

Tämän kokeen alkaessa koetaimet olivat kaksi-vuotiaita. Taimet istutettiin keväällä ennen lehtien puhkeamista dasotroneihin, ja niitä kasvatettiin kolme kuukautta eri maalämpötiloissa: 5 °C, 10 °C ja 20 °C. Ilman lämpötila (20 °C päivällä, 15 °C yöllä) ja muut olosuhteet olivat samat kaikissa käsittelyissä. Kussakin käsittelyssä oli neljä taimea.

Kaikissa käsittelyissä lehdet puhkesivat ilman lämpötilan kohottua. Kahdessa alimmassa maalämpötilakäsittelyssä taimet eivät kasvaneet pituutta juuri ollenkaan, joten myös uusien lehtien määrä jäi hyvin pieneksi (taulukko 1). Kylmä maa vähensi kaikkien kasvinosien kasvua, mutta hienojuurten

Taulukko 1. Rauduskoivujen eri osien kuivapainot ja kokonaiskuivapaino sekä juurten osuus kokonaiskuivapainosta eri maalämpökäsittelyissä. $n = 4$, keskiarvo \pm keskiarvon keskivirhe. Rankaosuudet sisältävät oksat, ja paksujuurten osuus sisältää kannon. Kunkin sarakkeen sisällä samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi ($P \leq 0.05$, Tukeyn testi).

Maan lämpötila, °C	Vanha ranka, g	Ensimmäiset lehdet, g	Uusi ranka, g	Toiset lehdet, g	Paksujuuret, g	Hienujuuret, g	Kokonaiskuivapaino, g	Juuriston osuus kokonaispainosta, %
5	69±7,1a	9.5±0,6a	0,17±0,07a	0,79±0,30a	18±1,8a	40±7,3a	138 ±12 a	42±2a
10	73±7,5a	11.8±1,6a	0,33±0,14a	1,21±0,37a	19±1,8ab	49±5,7a	156 ±16 a	44±2a
20	127±6,5b	9.9±3,3a	32±5,2b	49±6,2b	30±4,3b	48±10a	297± 17 b	26±3b

(läpimitta <2 mm) määrä ei eronnut merkitsevästi eri käsittelyissä. Hienojuurista se osuus, jonka tiedettiin varmuudella kasvaneen kokeen aikana, oli sama, 26 %, kaikissa käsittelyissä. Korkeimmassa maalämpötilassa uusien lehtien typpipitoisuus oli 23 mg kg⁻¹ ja vanhojen 16 mg kg⁻¹, kun taas alimmas- sa lämpötiläkäsittelyssä sekä uusien että vanhojen lehtien typpipitoisuus oli 9 mg kg⁻¹. Fotosynteesi- nopeus oli selvästi pienempi alimmissa lämpötiloi- sa, mutta lehtien vesipotentiaali oli suurin alimmas- sa lämpötilassa.

Maan kylmyys vaikutti siis juurten kasvuun suh- teellisesti vähemmän kuin maanpäällisten osien kas- vuun, vaikka maanpäällistenkin vasteiden täytyi joh- tua juurten toiminnasta: veden ja ravinteiden otosta, sekä mahdollisesti myös kemiallisista signaaleista. Ensimmäisten lehtien kasvun tiedetään tapahtuvan suurelta osin varastoituneen ravinnon varassa, ja siksi ympäristöolot eivät vaikuttaneet siihen yhtä paljon kuin myöhempään kasvuun. Ensimmäisten lehtien fotosynteesi mahdollistaa myöhemmän kas- vun. Ilmarakojen sulkeutuminen esti lehtien kuivu- misen (vesipotentiaalin laskun), mutta samalla se esti fotosynteesiä. Lisäksi on todennäköistä, että typensaannin vaikeutuminen kylmästä maasta oli yksi merkittävä tekijä kasvun estymisessä.

On esitetty arvioita, joiden mukaan koivun osuus puustosta tulee lisääntymään ilmaston lämpenemi- sen vuoksi. Tämän ja aikaisempien tutkimustemme perusteella näyttää, että rauduskoivu olisi herkempi alhaiselle maan lämpötilalle kuin kuusi ja mänty. Kun maan lämpötilat eivät välttämättä kohoa samas- sa suhteessa kuin ilman, maan lämpötila on tärkeä ympäristötekijä, kun laaditaan ennusteita eri puula- jien menestymisestä tulevaisuuden ilmastossa.

■ Ph.D. Pedro J. Aphalo, Helsingin yliopisto, bio- ja ympä- ristötieteiden laitos; MMM Markku Lahti, Metla, Suomen- joen toimintayksikkö; FT Tapani Repo, prof. Leena Finér, Metla, Joensuun toimintayksikkö; Ph.D. Tarja Lehto, MMM Aino Rummukainen, prof. Hannu Mannerkoski, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta
Sähköposti tarja.lehto@joensuu.fi

Vesa Juntunen ja Seppo Neuvonen

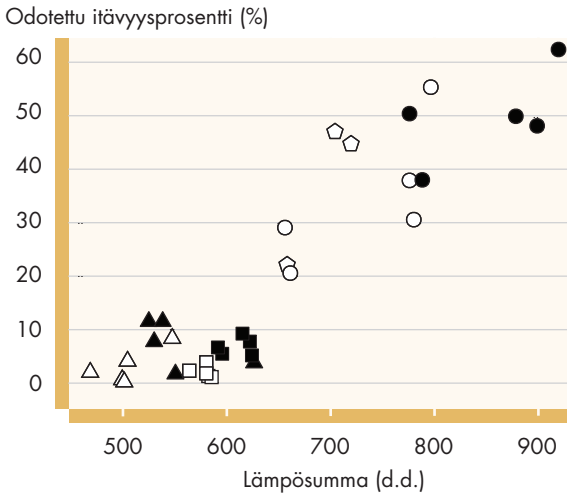
Männyn ja kuusen luontainen uudistuminen metsänrajalla Pohjois-Suomessa

Seloste artikkelista: Juntunen, V. & Neuvonen, S. 2006. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the timberline in northern Finland. *Silva Fennica* 40(3): 443–458.

Männyn ja kuusen uudistuminen sisältää useita eri vaihteita, joista kutakin kontrolloi eri ympä- ristötekijä. Kussakin vaiheessa osa siemensadon ko- konaispotentiaalista menetetään ja yleensä tämä me- netetty osuus kasvaa pohjoisemmaksi siirryttäessä. Uudistumisen onnistumiseen vaikuttaa myös taimi- kuolleisuus. Metsänraja-alueilla taimikuolleisuuden onkin katsottu olevan eräs metsänrajan etenemistä merkittävästi hidastava tekijä, joskin sen vaikutus on yleisesti sivuutettu metsänraja-alueen populaatioe- kologisia muutoksia kuvaavissa malleissa.

Tutkimuksessa analysoidaan männyn ja kuusen uudistumisdynamiikkaa metsänrajan eri vyöhyk- keillä. Tutkimus koostuu kahdesta erillisestä osa- tutkimuksesta: 1) männyn siemenen tuleentuminen pohjoisella metsänrajalla ja puurajalla sekä 2) met- sänrajan seurantatutkimus 1983–1999. Edellisessä 10 koealuetta on sijoitettu männyn pohjoiselle metsänrajavyöhykkeelle läpi Pohjois-Lapin pareit- tain siten, että toinen koealueista edustaa pohjoista metsänrajaa ja toinen puurajaa (etäisyys 7–25 km). Koealueille on asennettu tallentavat lämpömittarit ja kultakin koealueelta on kerätty siemennäytteet kym- menestä puusta ajanjaksolla 1997–2002. Siementen tuleentuneisuusaste määritettiin röntgenanalyysin perusteella. Lisäksi koealueilta arvioitiin kunakin vuonna käpyjen kokonaismäärä 30 näytepuusta.

Metsänrajan seurantatutkimuksen koealaverkko on perustettu 1983. Eri puolilla Lappia on kaikkiaan 16 tunturien rinteillä olevaa seuranta- aluetta, joista tässä tutkimuksessa on käytetty 13 havupuuvaltaista aluetta. Seuranta-alueista 8 on mäntyvaltaisia ja 5 kuusivaltaisia alueita. Kullakin seuranta- alalla on kolmen ympyräkoealan ryväs kolmella eri vyöhyk-



Kuva I. Siementen anatominen itävyys (perustuu Simakin 1980 esittämään malliin) ja lämpösumma männyin pohjoisella metsänrajalla ja puurajalla 1997–2002. Vuosina 2000 ja 2001 ei koealojen puissa esiintynyt käpyjä, joten siemenäytteitä ei kerätty. Valkoinen symboli ilmaisee puurajan ja musta metsänrajan koealaa. Eri vuosien mittaukset on merkitty seuraavasti: viisikulmio = 1997, kolmio = 1998, neliö = 1999, ympyrä = 2002.

keellä: metsässä, metsänrajalla ja puurajalla. Lisäksi kolme ympyräkoealaa on sijoitettu vielä puuttomalle paljakalle niillä paikoilla, joissa tällainen sijaitsee. Kunkin seuranta-alan puut ja taimet on kartoitettu mittaamalla niiden etäisyys ja suunta ympyrän keskipisteestä. Tämä mahdollistaa taimikohtaisen tarkastelun läpi havaintojakson. Puun ja taimen pituusrajana on käytetty 2 metriä. Kustakin puusta ja taimesta on määritetty lisäksi useita eri puu- ja taimitunnuksia, mutta uudistumista tarkasteltaessa ainoastaan taimimäärien muutos (pienet (<20 cm) ja suuret (20–199 cm) taimet erikseen) ja taimikuolleisuus on analysoitu. Kukin ympyräkoeala on inventoitu kolmesti; vuosina 1983, 1994 ja 1999.

Metsänraja-alueella sekä mäntyjen käpytuotanto (silmujen muodostaminen kaksi vuotta aiemmin) että siemenen tuleentuminen ovat kriittisiä vaiheita onnistuneelle uudistumiselle. Siemenen tuleentuneisuus korreloi merkitsevästi kesän lämpösumman kanssa (Kuva I), mutta käpytuotantoon vaikutti kesälämpötilojen ohella voimakkaasti edeltävien vuosien

käpysato. Vaikka ns. siemenvuodet ovat harvinaisia metsänraja-alueella, tuleentunutta siementä syntyy vaihtelevassa määrin vuosittain.

Metsänrajan seuranta tutkimus osoitti, että mänty ja kuusi reagoivat eri tavoin seuranta-ajanjakson (1983–1999) ilmaston vaihteluihin. Männyllä taimikuolleisuus on ollut huomattavan suurta (jopa 94 %). Taimimäärät ovat kuitenkin pysyneet lähes ennallaan läpi seuranta-ajanjakson, joten uusia taimia on säännöllisesti syntynyt korvaamaan kuolleet. Taimikuolleisuus ja uusien taimien syntyminen on ollut voimakkainta metsänrajavyöhykkeellä, mikä korostaa kyseisen vyöhykkeen ilmastollista herkkyyttä. Männyllä suuri taimikuolleisuus onkin ollut merkittävä metsänrajadynamiikkaa kontrolloiva ja metsänrajan etenemistä hidastava tekijä.

Kuusella taimikuolleisuus on ollut huomattavasti mäntyä alhaisempaa ja vastaavasti uudistuminen mäntyä voimakkaampaa. Tämän seurauksena taimitiheys on kaksinkertaistunut sekä metsänraja- että puurajavyöhykkeellä. Myös taimien keskipituus on kasvanut ja osa vuoden 1983 taimista luokitellaan jo puiksi. Metsänrajan ja puurajan voidaankin katsoa edenneen jo kyseisen seuranta-jakson aikana, mutta erityisesti populaatiorakenne ennakoii niiden siirtymistä lähitulevaisuudessa.

■ Tutkija Vesa Juntunen, Metla, Kolarin toimintayksikkö; FT Seppo Neuvonen, Metla, Joensuun toimintayksikkö. Sähköposti vesa.juntunen@metla.fi

Lauri Mehtätalo, Matti Maltamo ja Annika Kangas

Relaskoopikoealan pienimmän puun läpimitan mittaamisella voidaan parantaa puuston kokojakaumaennustetta

Seloste artikkelista: Mehtätalo, L, Maltamo, M. & Kangas, A. 2006. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. *Silva Fennica* 40(3): 501–516.

Kvantiilipuulla tarkoitetaan relaskoopikoealalta mitattua puuta, jonka läpimita ja järjestysluku koealalla tunnetaan. Erikoistapauksia kvantiilipuista ovat relaskoopikoealan minimi, maksimi tai mediaani. Mehtätalo (2005) esitti, kuinka kvantiilipuita voidaan käyttää parantamaan prosentiosuusmenetelmällä (Borders ym 1987, Kangas ja Maltamo 2000a) tuotettua läpimitajakaumaennustetta. Menetelmän ideana on tulkita kvantiilipuu mitatuksi prosenttipisteeksi, ja se perustuu prosenttipisteiden metsikkövaikutusten ennustamiseen lineaarisen ennustimen avulla.

Tutkimuksessa selvitettiin, miten eri perusteilla poimittujen kvantiilipuiden käyttö vaikuttaa läpimitajakaumasta johdettujen puustotunnusten keskineliövirheeseen ja harhaan. Tarkasteltavia tunnuksia olivat runkoluku, kokonaistilavuus, energiapuun tilavuus ja sahapuun tilavuus. Kvantiilipuiden valinnassa käytettiin 13 eri strategiaa; esimerkiksi oletettiin mitatuksi koealan pienin puu, lähimpänä relaskoopikoealan keskustaa sijaitseva puu, koelan suurin puu, lähinnä tukkipuun läpimitarajaa oleva puu tai satunnainen koealan puu. Metsiköstä puita poimittiin joko 1, 2 tai 3 koealalta. Samalta koealalta voitiin poimia myös useita puita, esim. 2 tai 3 pienintä puuta kultakin koealalta. Tutkimuksen aineistona oli 512 METLA:n kestokoeala-aineistosta poimittua metsikköä; aineisto on sama kuin Kankaan ja Maltamon (2000b) tutkimuksen INKA-vertailuaineisto. Metsikkötunnusten ja kvantiilipuumittausten oletettiin olevan virheettömiä.

Vaikka kvantiilipuiden käyttö kasvatti runkoluvun,

kokonaistilavuuden ja sahapuun tilavuuden harhaa erityisesti strategioissa joissa käytettiin koealan minimeitä ja maksimeita, kvantiilipuiden mittaaminen pienensi huomattavasti runkoluvun ja energiapuun tilavuuden keskineliövirhettä. Vaikutus kokonaistilavuuden ja sahapuun tilavuuden keskineliövirheeseen oli huomattavasti pienempi; mittausten tekeminen vain yhdeltä koealalta jopa kasvatti keskineliövirhettä, mikä johtui harhan kasvusta.

Mittausstrategiat, joissa poimittiin koelan pienimpiä tai lähinnä keskipistettä sijaitsevia puita, tuottivat selkeästi alhaisimmat runkoluvun ja energiapuun tilavuuden keskineliövirheet. Näistä edellinen oli hieman tarkempi kaikkien tarkasteltujen muuttujien keskineliövirheellä mitattuna, mutta jälkimmäinen puolestaan selvästi vähemmän harhainen runkoluvun, kokonaistilavuuden ja sahapuun tilavuuden suhteen.

Kvantiilipuiden käyttö muutti kaikkien tarkasteltujen tunnusten keskiarvoja. Se, aiheuttiko tämä muutos harhan kasvun vai pienenemisen, riippui siitä kuinka harhainen käytetty prosenttiosuusmalli oli. Siten saadut tulokset ovat sidoksissa käytettyyn prosenttiosuusmalliin (Kangas ja Maltamo 2000a). Runkoluvun, kokonaistilavuuden ja tukkipuun tilavuuden kohdalla mallin harha oli pieni, ja kvantiilipuiden aiheuttama odotusarvon muutos kasvatti harhaa. Energiapuun kohdalla malli puolestaan oli harhainen, ja ne strategiat, jotka muuttivat odotusarvoa vastakkaiseen suuntaan, tuottivat vähemmän harhaisia ennusteita.

Aikaisempien tutkimusten perusteella esimerkiksi *k*-lähimman naapurin menetelmä voi tuottaa tarkempia ennusteita joissain osissa jakaumaa. Kvantiilipuiden käyttö sen sijaan näyttäisi tuottavan kohtuullisen tarkan ennusteen läpimitajakauman kaikissa osissa.

Tutkimuksen perusteella relaskoopikoealan pienimpien tai lähinnä keskipistettä sijaitsevien puiden mittaamisella voidaan parantaa läpimitajakaumaennustetta etenkin metsikön pienimpien puiden osalta. Juuri tässä nykyisin käytettävillä malleilla on ollut ongelmia. On huomioitava, että relaskoopikoealalla pienet puut sijaitsevat lähellä keskipistettä, mikä selittää näiden strategioiden samankaltaisuuden. Myös mittaustekniset syyt puoltavat relaskoopikoealan pienimmän puun käyttöä kvantiilipuuna. Ensinnäkin pienimmät puut luetaan pieneltä säteeltä,

joten niiden luo on nopea kävellä. Pienimmän puun silmävarainen etsiminen lienee myös kohtuullisen helppoa, koska relaskoopikoealalta kaukaa luetut puut ovat aina välttämättä isoja.

Kirjallisuus

- Borders B.E, Souter, R.A., Bailey, R.L. & Ware, K.D. 1987. Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Science* 33(2): 570–576.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000a. Percentile-based basal area diameter distribution models for Scots pine, Norway spruce and birch species. *Silva Fennica* 34(4): 371–380.
- & Maltamo, M. 2000b. Performance of percentile based diameter distribution prediction and Weibull method in independent data sets. *Silva Fennica* 34(4): 381–398.
- Mehtätalo, L. 2005. Localizing a predicted diameter distribution using sample information. *Forest Science* 51(4): 292–303.

■ MMT Lauri Mehtätalo, Metla, Joensuun toimintayksikkö; prof. Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; prof. Annika Kangas, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos
Sähköposti lauri.mehtatalo@metla.fi