

Harri Mäkinen, Pekka Nöjd, Tuula Jyske, Kari Mielikäinen, Tuomo Kalliokoski, Tapani Repo ja Ilari Lumme

Kuusen kasvu muuttuvassa ilmastossa

Kuusen kasvun ennustetaan muuttuvan

Ilmasto vaikuttaa puulajien levinneisyyteen, kasvuun ja tuhoalttiuteen. Prosessipohjaisiin kasvumalleihin perustuvien ennusteiden mukaan Suomessa ilmaston lämpeneminen ja ilman kohoava hiilidioksidipitoisuus lisäävät Seppo Kellomäen tutkimusryhmän mukaan metsien kasvua seuraavan vuosisadan aikana. Kasvukauden ennustetaan pidentyvän ja puiden kasvunopeuden lisääntyvän, jotka molemmat lisäävät metsien tuotosta. Lämpenemisen lisäksi ilmastonmuutoksen seurauksena sademääriin ja sateiden ajoittumiseen odotetaan muutoksia. Ilmastonmuutos on arvioitu niin suureksi ja nopeaksi, että nykyisille puulajeille saattaa tulla sopeutusvaikeuksia. Muuttuvan ilmaston vaikutusten oletetaan olevan erityisen voimakkaita Lapissa.

Laaditut ilmastoskenaariot ennustavat Suomen ilmaston muuttuvan myös äärevämmäksi, mikä lisää puiden kasvun vuotuista vaihtelua. Ennusteissa myös oletetaan, että erilaiset sään ääri-ilmiöt yleistyvät. Näitä ovat kasvukauden aikaiset kuivuus- ja sadejaksot, leudot ja sateiset talvet sekä talvi- ja kesämyrskyt. Koska kuusen hienojuurista 70% kasvaa alle 15 cm:n syvyydessä maanpinnasta, etenkin Etelä-Suomen kuusikoiden on arveltu kärsivän veden puutteesta kuivina kesinä. Ääri-ilmiöt voivat myös alentaa kasvua ja lisätä metsätuhoriskejä altistamalla metsiä hyönteis- ja sienituhoille.

Laajassa eurooppalaisessa Spieckerin ym. tutkimuksessa todettiin, että Keski-Euroopassa kuusikoi-

den kasvu on lisääntynyt selvästi 1900-luvulla. Tietyn ikäiset samanlaisen kasvupaikan puut kasvoivat sekä pituutta että paksuutta selvästi enemmän kuin sata vuotta aiemmin. Myös Etelä-Ruotsissa kuusikoiden kasvu oli lisääntynyt, mutta muualla Pohjoismaissa samanlaista kasvunlisäystä ei havaittu. Pääsyyinä kasvun lisääntymiseen pidettiin typpilaskeumaa, joka on ollut Keski-Euroopassa vuosikymmenien ajan vuodessa 15–40 kg hehtaarilla, mutta Suomessa huomattavasti pienempi.

Metsäntutkimuslaitos (Metla) oli keskeisesti mukana yllä mainitussa eurooppalaisessa tutkimuksessa 1990-luvulla. Hankkeen päätyttyä Metlassa on jatkettu tutkimuksia kuusen kasvunvaihtelusta ja kasvun ajoittumisesta kasvukauden aikana sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Tässä katsauksessa teemme yhteenvedon Metlan kasvu- ja tuotostutkijoiden uusimmista tuloksista ja pohdimme niiden pohjalta ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia kuusikoiden kasvuun.

Vuosien välinen rungon paksuuskasvun vaihtelu

Kuusten vuotuinen kasvu vaihtelee merkittävästi. Edullisina kesinä kasvua saattaa kertyä 20–30%:a normaalia enemmän. Vaihtelu on erityisen voimakasta Lapissa, jossa kuuset elävät ilmastollisella äärirajallaan. Kesä- ja heinäkuun lämpötilat säätelevät Lapin kuusten paksuuskasvua voimakkaasti.

Etelä-Suomessa säiden ja kasvun yhteys ei ole yhtä yksiselitteinen. Lämpötilan lisäksi myös veden saavuus vaikuttaa kasvuun.

Metlassa Harri Mäkinen ym. vertasi yhdessä Freiburgin ja Tharandtin yliopistojen ja Norjan metsäntutkimuslaitoksen kanssa kuusen paksuuskasvun vuotuista vaihtelua Suomessa, Etelä- ja Pohjois-Norjassa sekä Etelä-Saksassa ja entisen Itä-Saksan alueella. Norjassa ja Saksassa aineistoa kerättiin eri korkeuksilta merenpinnasta laaksoista korkealle vuoristoon. Vertailulla selvitettiin kuusen kasvuun vaikuttavia tekijöitä erilaisissa ilmasto-olosuhteissa.

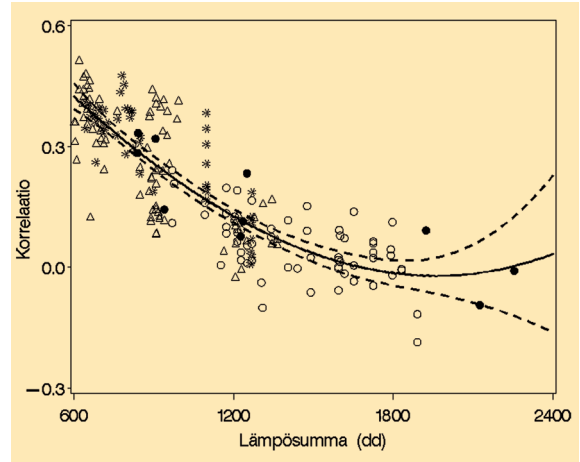
Lämpimillä kasvupaikoilla Keski-Euroopassa ja Etelä-Norjassa kuusen kasvua rajoittaa veden puute. Etelässä korkea kesälämpötila vaikuttaa näin päinvastaiseen suuntaan kuin pohjoisessa ja korkealla vuoristossa, koska kuumaan kesään liittyy usein kuivuus (kuva 1). Etelässä lämpimät alkukeväävät kuitenkin edistivät kuusen kasvua.

Kuivuus hidastaa kuusten kasvua Etelä-Suomessa

Etelä-Suomen kuusten heikko kunto herätti huolta 1990-luvun loppupuolella. Yksittäisiä kuolleita kuusia ja muutaman kuolleen kuusen ryhmiä löytyi erityisesti kasvupaikoilta, joilla kallio oli pinnassa tai lähellä maan pintaa. Tutkimus osoitti harsuuntuneiden ja kuolleiden kuusten sekä niiden kanssa samassa metsikössä kasvavien terveiden kuusten vuotuisen kasvun vaihdelleen samaan tahtiin kesäkuukausien sademäärän kanssa. Lämpiminä kesinä kasvu aleni puiden kärsiessä veden puutteesta. Kuivuus alensi kasvua jo vuosia ennen puiden kuolemaa. Kasvupaikoilla, joilla ei ollut huonokuntoisia kuusia, kesän sateisuus tai kuivuus ei vaikuttanut kuusten kasvuun.

Kuivuuden vaikutusta kuusten kasvuun on raportoinut Tuula Jyske ym. käyttäen aineistonaan Metlan ylläpitämiä kokeita, joilla sadeveden pääsy maahan estettiin viitenä kesänä katteilla. Katteet asennettiin koealoille keväällä ennen kasvukauden alkua ja poistettiin elokuun alkupuolella. Osa koeruuduista lannoitettiin kuivuuden ja typen saatavuuden yhteisvaikutuksen selvittämiseksi.

Ankara keinotekoinen kuivuus hidasti kuusten pituuskasvua 20–30 % ja läpimitan kasvua 10–20 %.



Kuva 1. Kuusen vuotuisen sädekasvunvaihtelun korrelaatio saman kesän lämpösommaan. Viileillä kasvupaikoilla lämmin kesä lisää kuusen kasvua, mutta jo Etelä-Suomessa (dd = 1200–1300) lämpösomman ja sädekasvun korrelaatio on alhainen. (piste = Etelä-Saksa, ympyrä = Saksan itäosat, kolmio = Norja, tähti = Suomi, paksut viivat = kolmannen asteen polynomi ja sen luottamusväli).

Kuivuuden vaikutus lisääntyi vuosi vuodelta, eli kuivuus alensi puiden kasvua enemmän kokeen loppuvuosina. Kuivuuden vaikutus kasvuun oli samanlainen lannoitetuilla ja lannoittamattomilla puilla.

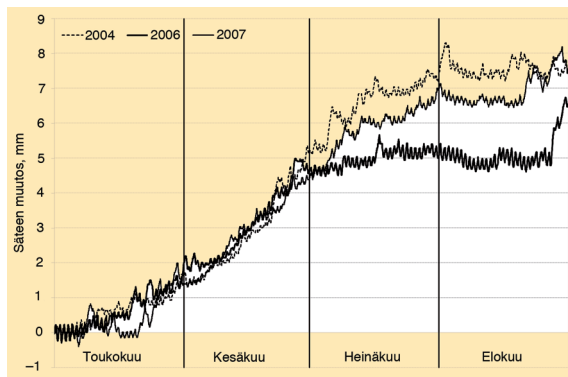
Kuivuus vaikutti myös puukuitujen ominaisuuksiin alentamalla 10–30 % ohutseinäisten kevätpuukuitujen osuutta vuosilustoissa. Koska kuivuus lisäsi paksuseinäisten kesäpuukuitujen osuutta, puuaineen tiheys oli 0–5 % korkeampi kuivuudesta kärsineillä puilla. Keskimääräinen kuituseinäämän paksuus kasvoi n. 10%. Kuivuus ei juurikaan vaikuttanut kevätpuukuitujen läpimittaan. Kesäpuun kuitujen läpimittaa kuivuus sen sijaan pienensi.

Puiden kasvua seurattiin vielä kahden vuoden ajan katteiden poistamisen jälkeen. Kuivuusstressin jälkeisinä vuosina puut toipuivat nopeasti. Pituuden ja läpimitan kasvu oli vain hieman alhaisempi kuivuudesta kärsineillä puilla kontrollipuuihin verrattuna. Kuivuus ei myöskään vaikuttanut puuaineen ominaisuuksiin kuivuskäsittelyn loppumisen jälkeen.

Rungon paksuuskasvun ajoittuminen

Suomessa puiden kasvukausi on lyhyt. Kuusten paksuuskasvu alkaa Etelä-Suomessa yleensä toukokuun lopulla, Lapissa kesäkuun alkupuolella ja Pohjois-Lapissa toisinaan vasta kesäkuun puolivälin jälkeen. Puiden vuotuisesta paksuuskasvusta kertyy Etelä- ja Keski-Suomessa heinäkuun aikana noin puolet ja kesäkuussa noin 35%. Kuusten paksuuskasvu päättyy koko Suomessa jo elokuussa kestettyään noin kaksi ja puoli kuukautta. Eri vuosien kasvukausissa on kuitenkin huomattavia eroja.

Rungon ympärysmittassa näkyvät niin sateet kuin helteetkin, ja myös päivät ja yöt. Kuusiin asennetut kasvupannat mittaavat rungon ympärysmittan muutoksia tunnin välein. Mittauksista syntyvää kasvun kuvaajaa voi seurata Internetissä lähes reaaliaikaisesti (www.metla.fi/metinfo/kasvu/paivittainen).



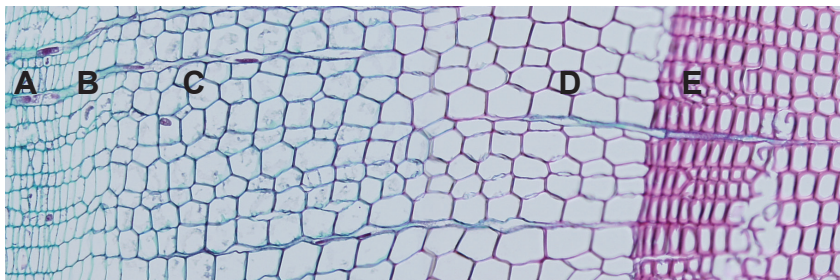
Kuva 2. Kuusen tunneittainen läpimitanmuutos rinnankorkeudella Punkaharjulla mitattuna kasvupannalla. Kuivuus pysäytti runkojen paksunemisen heinäkuussa 2006.

Kaikki puiden paksuuden muutokset eivät ole uusien solujen muodostumisesta aiheutuvaa kasvua. Rungot myös turpoilevat ja kutistuvat niiden sisältämän vesimäärän vaihdellessa. Poutapäivinä puut haihduttavat enemmän vettä kuin juuristo pystyy ottamaan maasta ja kuljettamaan runkoon, jolloin runko kutistuu. Keskikesän poutajaksojen aikana runkojen läpimitta voi kasvaa hitaasti tai ei lainkaan, vaikka runkoihin muodostuu uusia soluja. Kuivuus voi jopa pysäyttää runkojen paksunemisen, kuten tapahtui loppukesällä 2006 (kuva 2). Sateet näkyvät mittauksissa puun läpimitan nopeina lisäyksinä, jotka tasaantuvat puiden haihduttaessa vettä.

Täsmällisintä tietoa puun kasvusta saadaan solutason mittauksilla (kuva 3). Runkojen paksuuskasvu perustuu solujen jakautumiseen kuoren alla olevassa jälsikerroksessa. Puun runkoon kertyy uutta puuainesta senkin jälkeen, kun rungon läpimitta ei enää lisäännä. Kun uusi solu on muodostunut ja laajentunut lopulliseen kokoonsa, soluseinät paksuuntuvat vielä usean viikon ajan.

Routa vaikuttaa kuusen kasvuun

Lumi on hyvä eriste, joka vaikuttaa maan lämpötilaan ja kosteuteen. Ilmastonmuutoksen seurauksena lunta voi tulla tulevaisuudessa alueesta riippuen enemmän tai vähemmän, ja lumipeite voi jopa sulaa talven aikana. Lumeton maa jäätyy pakkasella syvemmältä kuin paksun lumipeitteen alla. Jos maa on keväällä jäässä vielä silloin, kun puut alkavat haihduttaa ilman lämmitessä, voi puiden veden- ja ravinteidensaanti heikentyä. Tämä voi lykätä paksuuskasvun alkua, ja vähentää puiden kokonaiskasvua.



Kuva 3. Poikkileikkauksikuva kuusen muodostuvasta vuosilustosta (9.7.2008, Flakaliden, Ruotsi); (A) jakautuvia, (B) laajenevia, (C) kaksoissoluseinää muodostavia, ja (D) puutuneita soluja, (E) edellisen vuosiluston kesäpuun soluja.

Metlan ylläpitämässä, Tuula Jyskeen ym. raportoinnissa kokeessa Kontiolahdella selvitettiin lumi- ja routaolosuhteiden vaikutusta 47-vuotiaiden kuusten paksuuskasvuun. Kokeessa oli kolme käsittelyä: 1) lumipeite kertyi ja sulii normaalisti, 2) lumi poistettiin säännöllisesti ja 3) lumi poistettiin talven ajaksi ja maanpinta eristettiin maaliskuun lopussa roudan sulamisen hidastamiseksi. Käsittelyt toistettiin kahdena talvena 2005–2006 ja 2006–2007.

Vuonna 2006 paljaaksi lapioidun maan voimakas routaantuminen ja roudan hidas sulaminen viivästyttivät paksuuskasvun alkua noin viikolla. Vuonna 2007 puiden paksuuskasvun ajoittumisessa ei ollut eroja käsittelyiden välillä. Talvi 2006–2007 oli lauhempi ja maan routaantuminen vähäisempää ja roudan keväinen sulaminen siten nopeampaa kuin talvella 2005–2006.

Tulokset osoittavat, että routaoloilla voi olla vaikutusta kuusen paksuuskasvun alkamisajankohtaan. Jos maa on keväällä pitkään roudassa, paksuuskasvu alkaa hieman myöhemmin. Roudan vaikutus näkyi kuitenkin vain, jos maanpinta eristettiin keväällä sulamisen hidastamiseksi, ei kontrollikäsittelyn ja lumipeitteettömän käsittelyn välillä. Roudan myöhäinen sulaminen saattaa viivästyttää paksuuskasvun alkamista voimakkaimmin metsämailla, joiden vedenpidätyskyky on suuri ja routaantuminen täten voimakasta.

Alkuperä vaikuttaa kasvuun

Kuusen levinneisyysalueen sisällä on huomattavia ilmastollisia eroja, joiden seurauksena kuusesta on kehittynyt perinnöllisesti toisistaan eroavia alkuperiä. Metlassa Tuomo Kalliokoski ym. selvittivät alkuperien välisiä eroja kuusen paksuuskasvun ajoittumisessa. Aineisto kerättiin Tammisaaresta professori Olli Heikinheimon 1920-luvulla perustamalta alkuperäkokeelta. Kokeen tavoitteena on tutkia, kuinka muualta siirretyt alkuperät sopeutuvat uusiin oloihin ja menestyvät paikallisiin alkuperiin verrattuna. Tutkimukseen valittiin neljä alkuperää (Muonio, Pieksämäki, Flöha (Saksi, Saksa) ja Köszeg (Unkari)), joiden alkuperäisten kasvupaikkojen ilmastot poikkeavat selvästi toisistaan. Kunkin alkuperän puista otettiin kasvukauden aikana viikoittain minikairanäytteitä vuosina 2004–2008.

Vuosien välinen vaihtelu paksuuskasvun ajoittumisessa oli suurta. Eri vuosina paksuuskasvu käynnistyi aikaisimmillaan toukokuun alkupuolella ja myöhimmillään kesäkuun puolenvälin jälkeen. Kaikkina vuosina vuorokauden keskilämpötila oli useita viikkoja +5°C yläpuolella ennen paksuuskasvun käynnistymistä. Nopeimman paksuuskasvun ajankohta osui kesän lämpimimpään ajanjaksoon, joka oli yleensä heinäkuun alkupuolella. Solujen erilaistuminen jatkui pitkälle syyskuun. Sekundaarista soluseinää muodostavia soluja havaittiin vielä syyskuun puolenvälin jälkeen.

Suomalaisten alkuperien paksuuskasvu käynnistyi keskimäärin hiukan saksalaista ja unkarilaista alkuperää aiemmin. Suomalaiset alkuperät myös tuottivat kasvukauden aikana hieman enemmän soluja kuin keskieuropallaiset alkuperät. Suomalaisten alkuperien välillä ei havaittu eroja kasvun ajoittumisessa eikä solujen määrässä. Alkuperien väliset erot olivat kaikenkaikkiaan pieniä verrattuna yksittäisten puiden ja vuosien väliseen vaihteluun.

Johtopäätökset

Vaikka ilmastomuutoksen vaikutukset metsäekosysteemiin eivät ole täsmällisesti ennakoitavissa, tulokset antavat olettaa, että kasvukauden aikaiset kuivuusjaksot ja leudot talvet vaikuttavat kuusten kasvuun Etelä-Suomessa. Lämpiminä vähäsateisina kesinä veden puute alentaa kasvua lähinnä kuivilla kasvupaikoilla. Lämpimät talvet saavat puun kulluttamaan enemmän vararavintoa, mikä vähentää seuraavan kesän kasvua. Jos vähälumiset talvet routaantuttavat maaperän syväälle, myöhäinen roudan sulaminen haittaa kuusten veden ja ravinteiden ottoa ja siten alentaa kasvua. Ankaruutta johtaa jopa kuusten paikoittaiseen pystyynkuivamiseen.

Jos kesät lämpenevät, Keski- ja Pohjois-Suomessa kuusten kasvu lisääntyy ja metsänraja siirtyy pohjoiseen. Muutos voi olla merkittävä, mikäli ilmastomme muuttuu tulevaisuudessa lämpötila- ja kosteusoloiltaan samankaltaiseksi kuin nykyisin Keski-Euroopassa. Tulosten mukaan kuusen kasvu ja vuosirytmitys pystyvät sopeutumaan huomattaviinkin muutoksiin ympäristöoloissa, mikä viittaa siihen, että ilmastomuutos ei merkittävästi lisäisi puiden kuolleisuutta.

Kirjallisuutta

- Henttonen, H., Mäkinen, H. & Nöjd, P. 2009. Seasonal dynamics of wood formation of Scots pine and Norway spruce in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 606–618.
- Jyske, T., Hölttä, T., Mäkinen, H., Nöjd, P., Lumme, I. & Spiecher, H. 2010. The effect of artificially induced drought on radial increment and wood properties of Norway spruce. *Tree Physiology* 30: 103–115.
- , Manner, M., Mäkinen, H., Nöjd, P., Peltola, H. & Repo, T. 2012. The effects of artificial soil frost on cambial activity and xylem formation in Norway spruce. *Trees* 26: 405–419.
- Kalliokoski, T., Reza, M., Jyske, T., Mäkinen, H. & Nöjd, P. 2012. Intra-annual tracheid formation of Norway spruce provenances in southern Finland. *Trees* 26: 543–555.
- Mäkinen, H., Nöjd, P. & Mielikäinen, K. 2000. Climatic signal in annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) along a transect from central Finland to Arctic timberline. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 769–777.
- , Nöjd, P. & Mielikäinen, K. 2001. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in southern Finland. *Trees* 15: 177–185.
- , Nöjd, P., Kahle, H.-P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H. & Spiecker, H. 2002. Climatic response of radial growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management* 171: 243–259.
- , Nöjd, P., Kahle, H.-P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H. & Spiecker, H. 2003. Large scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees* 17: 173–184.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (toim.). 1996. *Growth trends in European forests*. Springer. 372 s.

■ PhD Harri Mäkinen, MMT Pekka Nöjd, MMT Tuula Jyske, prof. Kari Mielikäinen, MMT Tuomo Kalliokoski & MMT Ilari Lumme, Metla, Vantaan toimipaikka; FT Tapani Repo, Metla, Joensuun toimipaikka. Sähköposti harri.makinen@metla.fi