

Risto Jalkanen, Carmen Büttner ja
Susanne von Bargaen

Kirsikankierrelehtivirus hies- koivulla Suomessa

Seloste artikkelista: Jalkanen, R., Büttner, C. & von Bargaen, S. 2007. *Cherry leaf roll virus* abundant on *Betula pubescens* in Finland. *Silva Fennica* 41(4): 755–762.

Iältään ja kooltaan vaihtelevien hies- ja rauduskoivujen lehdillä on vuoden 2002 jälkeen tavattu alati yleistyvää tautia, jonka aiheuttajasta ei ollut varmuutta. Oireellisia koivuja löydettiin sekä kaikkialta Suomesta että Pohjois-Norjasta ja Ruotsista. Toistaiseksi oireita on kirjattu raudus-, hies-, tunturi- ja vaivaiskoivuilta ryhminä tai yksittäispuina taimista ja nuorista, hyvin kasvavista koivuista kasvultaan jo hidastuneisiin vanhoihin puihin. Sairaita puita löytyy niin kivennäis- kuin turvemaalta, metsistä ja kaupungeista alavilta mailta alpiiniselle metsänrajalle asti.

Tyypillisiä oireita ovat lehtisuonikeskeiset keltaiset, reunoja kohti laajenevat laikut, lehtien käyristyminen ja kasvukauden loppua kohti lisääntyvät nekroottiset laikut. Oireilu alkaa yksittäisistä oksankärjistä leviten yleensä ensin alalatkukseen ja myöhemmin lähes koko latvukseen. Latvat vaikuttavat terveimmiltä.

Ensimmäiset taudinoreet, lehtien lievä kellastuminen ja kuperoituminen, ilmenevät toukokuun loppulla, kun ensimmäiset lehdet ovat täysikasvuissa ja uudet kasvaimet ovat kasvaneet muutaman senttimetrin. Ensimmäisenä syntyneet lehdet kasvavat tavallisesti täyteen kokoonsa, kun taas myöhemmin syntyvät lehdet jäävät jopa alle puoleen normaalkoosta. Loppukesällä voivat myös isokokoiset lehdet saada oireita. Kesän edetessä oireellisten lehtien kellainen (kloroottinen) suonikeskeinen kuviointi, ku-



Kuva 1. Kirsikankierrelehtivirus hieskoivulla (koepuu nro 2). Rovaniemi 14.7.2006.

peruus ja lopulta nekroottisuus vahvistuvat. Kaikesa keltaisuudessa pääsuonet ovat kuitenkin usein vihreitä. Keltaisten laikujen muoto ja koko vaihtelevat runsaasti; rengaslaikkuja ei kuitenkaan ole havaittu. Heinäkuussa oireileva latvuksenosa on niin kalpea, että se on helppo erottaa vihreistä koivunosista. Perinteisten koivun lehtitautien runsaus hävyttää helposti tämän oireyhtymän etenkin loppukesällä. Varsinkin rauduskoivulla lehtien kiertyminen ja roikkuminen antavat nuutuneen vaikutelman, mitä kesällä 2006 on ehkä edistänyt ankara kuivuus. Joissakin tapauksissa kuperat lehdet vaikuttavat hypertrofisilta, liikakasvuilta. Kesän kloroottiset laikut muuttuvat hyvänä ruskasyksynä kirkkaan keltaisiksi. Oireellisten puiden lehdet karisevat normaaliaikaan, kun tautia on laajalti puussa. Sen sijaan oireiden rajoituttua oksankärkiin, lehdet karisevat selvästi etuajassa. Muutenkin oksankärjet puhdistuvat ensiksi.

Yleensä yksittäisistä oksista alkanut oireilu leviää 1–2 vuodessa valtaosaan latvusta. Kerran koivussa puhjettuaan tauti näyttää pysyvän siinä seuraavinkin vuosina.

Edellä kuvattu oireisto on laajuudessaan aivan uusi ilmiö Pohjois-Suomessa ja täysin tuntematon hieskoivulla Suomessa. Oireiden perusteella aloimme epäillä taudinaiheuttajaksi viruksia, joista kirsikankierrelehtiviruksen (*Cherry leaf roll virus*, CLRV) Keski-Euroopassa koivulla kuvatut oireet muistuttivat eniten hieskoivun oireistoa.

Hypoteesin testaamiseksi sovelsimme kirsikankierrelehtiviruksen tunnistavaa molekyylibiologista tekniikkaa (IC-RT-PCR) 20 oireilevaan 3–14-metriseen koivuun, joista yksi oli rauduskoivu. Kaikki muut Rovaniemen keskustan oireelliset koivut syyskuussa 2006 olivat hieskoivuja. Virusta etsittiin oireellisten oksien nuorista lehdistä, silmuista ja hedekukinnoista.

Kirsikankierrelehtivirus löydettiin 85 %:sta koeputia, kaikki hieskoivuja. Kahdesta hieskoivusta ja rauduskoivusta viruksen läsnäoloa ei voitu varmistaa, vaikka rauduskoivun oireisto vastasi hyvin positiivisen reaktion antaneiden hieskoivujen oireistoa. Osasta sairaita hieskoivuja tehty elektronimikroskooppinen (TEM) tarkastelu paljasti solukoista 28–30 nm:n kokoisia isometrisiä partikkeleita, jotka sopivat hyvin kuvauksiin CLRV:n morfologiasta.

Kirsikankierrelehtivirus osoitettiin nyt ensimmäistä kertaa Suomessa hieskoivulta. Virusta tai sen aiheuttamaa tautia ei ole myöskään löydetty aiemmin Pohjois-Suomesta. Niin ikään viruksen läsnäolo Suomessa voitiin ensimmäisen kerran vahvistaa molekyylibiologisin menetelmin. Oireiden perusteella virus on yleinen koivulla Pohjoismaissa. Koska virukset kerran isäntäkasviin päästyään aiheuttavat vähintään merkittäviä kasvutappioita ja ääritapauksissa sen kuoleminen, kirsikankierrelehtiviruksen yleistymisen uhkaa vakavasti koivukoiden kuntoa. Virustautien pysyvyys ja erityisesti CLRV:n leviäminen siitepölyn ja siementen avulla lisäävät huolta. Oireiden leviämisen nopeus viime vuosina viittaa mahdollisuuteen, että kirsikankierrelehtivirus voi muodostua vakavaksi uhkaksi koivun taloudelliselle kasvatukselle ja käytölle puisto- ja kaupunkipuuna.

■ MMT, FT Risto Jalkanen, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö; prof. Carmen Büttner, tri Susanne von Bargen, Humboldtin yliopisto, Berliini, Saksa
Sähköposti risto.jalkanen@metla.fi

Paula Jylhä ja Juha Laitila

Energia- ja ainespuun korjuu nuorista metsistä kokopuupaalaimella

Seloste artikkelista: Jylhä, P. & Laitila, J. 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica* 41 (4): 763–779.

Uusi, kokopuun paalaukseen perustuva korjuumenetelmä voi kehittyessään mahdollistaa kustannustehokkaan ja nykyistä laajamittaisemman aines- ja energiapuun korjuun ensiharvennuksilta. Uudessa korjuumenetelmässä ainespuumittaiset puut kootaan oksineen tiiviiksi paaleiksi, ja aines- ja energiajakeet erotellaan toisistaan vasta kuiduttavan tehtaan kuorimossa. Ainespuuksi kelpaamattomat rungot voidaan hakkuun yhteydessä paalata omaksi puutavaralajikseen ja toimittaa energiantuotantoon. Kehitetty menetelmä soveltuu teollisuuden suurimittakaavaiseen puunhankintaan. Sen kilpailukyky perustuu pääasiassa lähi- ja kaukukuljetuksessa saavutettaviin kustannussäästöihin. Lisäksi erillinen energiaosittien murskausvaihe jää kokonaan pois, sillä energiajae erottuu kuituraaka-aineesta rumpukuorinnassa. Paalatulla ensiharvennuskammionalla tehtyjen tehdaskokeiden perusteella kuorinta ja käsittely sujuvat ongelmitta, kun paaleja syötetään tasaisesti kuorintarumpuun normaalin ainespuuvirran seassa. Hankintaketjujen kilpailukyky on parhaimmillaan pitkällä kuljetusmatkoilla ja yhden puu- tai puutavaralajin metsiköissä.

Kokopuupaalaimen ensimmäinen prototyyppi, ”Fixteri”, esiteltiin julkisuudessa talvella 2007. Alustakoneena on nelisynterinen (95 kW) Valmet 801 Combi-korjuri, jonka kuormatilan paikalle on sijoitettu ensiharvennuspuun katkenta-, tiivistys- ja niputuslaite. Kokopuut hakataan keräävällä energiapuukouralla eri puutavaralajeihin. Tämän jälkeen koottu puunippu siirretään paalaimen syöttöpöydälle, josta syöttörullat vetävät sen syöttökammioon. Kokopuurungot katkaistaan syöttökammion suulle asennetulla ketjusahalla. Kun syöttökammioon on kertynyt tarpeeksi puuta, nippu nostetaan puristuskammioon, jossa se sidotaan paaliksi. Valmis paali pudotetaan ajouran varteen odottamaan lähikuljetusta. Suurin osa paa-



Kuva 1. Kokopuupaalaimen ensimmäinen prototyyppi.

laimen toiminnoista on automatisoitu, joten hakkuuta voidaan jatkaa paalauksen aikana. Paalien lähi- ja kaukokuljetuksessa käytetään vakiovarusteisia kuormatraktoreilta ja puutavara-autoja. Paalien pituus on noin 2,6 metriä ja halkaisija 60–70 cm.

Esitutkimuksessa selvitettiin kokopuupaalaimen tuottavuutta kolmessa esiharvennusleimikossa, joiden kokopuun kertymä oli 42–97 m³/ha ja poistettujen runkojen keskiläpimitta 8–9 cm. Tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa korjuumenetelmän pulonkaulat ajanmenekin rakenteen perusteella. Havupuusta koostuneiden ainespuupaalien kiintotilavuus oli noin 0,513 m³ ja lähinnä koivua ja kuusta sisältäneiden energiapuupaalien tilavuus 0,334 m³. Hakkuukertymä lisääntyi enimmillään noin 60 % tavanomaiseen kuitupuun korjuuseen verrattuna. Tehotuntituottavuudet (2,8–3,7 m³/E₀-h) jäivät alle puoleen koneellisen keräilykaadon tuottavuuksista vastaavissa olosuhteissa. Paalien lukumäärällä mitattuna tuottavuus oli kaikissa metsiköissä noin seitsemän kappaletta tehotunnissa. Tällä tuottavuustasolla kuljetuskustannuksissa ja energiajakeen murskauksessa saavutettavat säästöt eivät vielä kata paalauksesta johtuvia korjuun lisäkustannuksia. Paalaimen tuottavuutta on kuitenkin mahdollista parantaa varsin vähäisillä koneteknisillä muutoksilla, jotka on selostettu tutkimusjulkaisussa. Tulokset rohkaisivat

jatkamaan menetelmän edelleen kehittämistä. Koneen toinen prototyyppi on rakenteilla, ja aikatutkimuksia on tarkoitus jatkaa sen valmistuttua.

■ MMM Paula Jylhä, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen toimintayksikkö; MMM Juha Laitila, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö
Sähköposti paula.jylha@metla.fi

Ilkka Korpela ja Esko Välimäki

Metsän kartoitus yhdistämällä fotogrammetria ja maastogeodesia

Seloste artikkelista: Korpela, I., Tuomola, T. & Välimäki, E. 2007. Mapping forest plots: an efficient method combining photogrammetry and field triangulation. *Silva Fennica* 41 (3): 457–463.

Metsäekosysteemin rakenteen ja toiminnan välisiä relaatioita tutkittaessa tarvitaan usein tilajärjestyksen kartoittaminen. Kohteet ja ilmiöt voidaan tällöin kartoittaa tarkasti paikallisessa koordinaatistossa, joka saa deformatiota, kunhan lyhyen välimatkan

kartoitustarkkuus riittää tutkittavan ilmiön selvittämiseen. Kaukokartoitussovelluksissa tarvitaan korkeaa kartoitustarkkuutta myös globaalissa järjestelmässä, kun halutaan minimoida kohinaa, joka syntyy sensorin orientointi- ja kohteen sijaintivirheistä. Metsien kaukokartoituksessa päästään tätä nykyä puutasolle, jolloin kaukokartoitusaineistosta tulkittujen puiden ja toisaalta maastosta mitattujen puiden välille halutaan yksi yhteen -yhteys. Paikallinen tai globaali kartoittaminen on kuitenkin työlästä metsäolosuhteissa, kun mitattavana on suuri, peitteinen tai topografialtaan vaihteleva alue, ja kun satelliittipaikannuksessa ei voida latvuston takia päästä kuin metriluokan tarkkuuteen.

Artikkelissa kuvaamme yhden maastomittaajan kartoitusmenetelmän, jolla voi kartoittaa suuriakin peitteisiä metsäalueita suoraan globaaliin koordinaatistoon. Tasotarkkuus on 1–3 desimetriä ja menetelmässä käytetään edullisia mittavälineitä. Paikannetuille pistemäisille kohteille saadaan maastossa tarkkuusestimaatti. Menetelmä koostuu kahdesta päävaiheesta: 1) fotogrammetrinen puiden kartoitus ja 2) maastotyöt. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitettavalle alueelle mitataan tukipisteverkko, jonka muodostavat kaikki ilmakuvulta (tai esim. laserkeilausaineistosta) luotettavasti paikannettavat puut tai pikemminkin niiden latvapisteet. Näille tukipisteille voidaan mitata kaukokartoituksella lisätunnuksina pituus, latvuksen koko ja puulaji, jolloin tukipisteverkon muodostaa pää- ja lisävaltapuista sekä välipuista muodostuva puujoukko. Maastotyövaiheessa nämä tukipisteet identifioidaan. Apuna voi käyttää ennalta laskettuja puiden välisiä etäisyyksiä ja kompassisuuntia, jotka voi tulostaa puihin kiinnitettäviin lappuihin. Tukipisteistä voidaan tehdä myös kartta työtä helpottamaan. Kohteet, jotka halutaan kartoittaa, paikannetaan tukipisteisiin nähden kolmioimalla ja/tai trilateroimalla eli suuntimalla kompassilla ja/tai etäisyysmittauksin. Laskenta tapahtuu painotetun pienimmän neliösumman menetelmällä tasoituslaskuna, jonka tuloksena saadaan tuntemattoman kohteen sijainti, sijainnin virhe-estimaattorit sekä tietoa yksittäisten suunta-, etäisyys- ja koordinaattihavaintojen luotettavuudesta. Tasoituslaskua varten tarvitaan maastolaskin, jonne on taltioituna tukipisteverkko.

Menetelmän soveltamiseksi tarvitaan alueelta ilmakuvaus ja/tai laserkeilaus, joiden näytteenottoiheyttä riittää yksittäisten latvusten havaitsemiseen. Latvapis-

teiden (tukipisteet) mittaustarkkuus vaikuttaa oleellisesti menetelmällä saavutettavaan tarkkuuteen. Simuloimalla saatiin tulokseksi mm., että kohteiden paikannustarkkuus on noin 0,35 m, kun ilmakuvulta paikannettujen puiden koordinaattitarkkuus on 0,5 m ja maastossa tähdätään bussolilla neljään tukipistepuuhun yhden asteen mittausrvirheellä. Kun ilmakuvulta tehtävän tukipistepuiden paikannuksen tarkkuus paranee 0,25 metriin, on tuntemattomien pisteiden sijaintitarkkuus 0,15 m samalla havaintoasetelmalla. Kaikkiaan simuloinneissa tutkittiin tukipisteiden määrän, tarkkuuden ja geometrian sekä mittausrvirheiden vaikutusta menetelmän tarkkuuteen.

Menetelmää kokeiltiin noin 50-vuotiaassa mäntykuusi-koivusekametsässä Hyytiälän Pätsänmäellä. Alueen koko oli noin 100 metriä × 50 metriä ja maasto oli paikoin vaikeakulkuista korkeuserojen takia. Tuntemattomien pisteiden X- ja Y-koordinaateille saavutettu tarkkuus oli keskimäärin 0,14 m, kun ne paikannettiin suhteessa neljään tukipisteeseen käyttäen sekä bussolia että laseretäisyysmittaria. Käytävissä oli mittakaavan 1:8 000 ja 1:10 000 ilmakuvia sekä tarkka laserkeilauksesta johdettu maaston korkeusmalli.

Menetelmällä ei voida käytännössä saavuttaa senttimetriluokan tarkkuutta, vaan tarkkuus jää 1–4 desimetrin tasolle ja paikannustarkkuuteen vaikuttaa eniten tukipistepuiden fotogrammetrinen mittaustarkkuus. Siihen vaikuttavia seikkoja ovat latvuksen muoto sekä käytössä olevien ilmakuvien (laserpisteistön) ominaisuudet. Aivan pienissä taimikoissa menetelmää ei voine soveltaa, koska latvat eivät erotu kuvilta. Taimikoissa verkko-RTK tekniikkaan perustuva satelliittipaikannus tarjoaa paljon tehokkaamman keinon paikantaa kohteet suoraan globaaliin järjestelmään muutaman senttimetrin XYZ tarkkuudella. Työssä kuvattu menetelmä ei vaadi kuin yhden maastomittaajan, mikä on etu moniin muihin menetelmiin nähden. Suurellakaan peitteisellä tai topografialtaan hankalalla alueella koordinaatisto ei deformeudu, sillä tukipisteverkko ulottuu kaikkialle vakiotarkkuudella. Jotta menetelmä olisi nopeaa käyttää, suunta- ja etäisyyshavainnot tulisi kirjata automaattisesti tietokoneelle, joka suorittaa tasoituslaskennan. Menetelmän soveltamista vaikeuttaa fotogrammetrinen työvaihe, jossa tarvitaan ilmakuvat ja niiden tulkintaan soveltuva ohjelmisto sekä operaattori. Menetelmää sovellettaessa tarvitaan myös

tieto mittaustarkkuuksista, joita käytetään painoina tasoituslaskennassa. Virhe-estimaattoreihin voi luottaa vain, jos painot on asetettu oikein. Mittaustarkkuudet pitääkin selvittää erillisin kokein. Yksittäisen puun kaukokartoitussovelluksia varten voidaan menetelmästä kehittää versio, jonka avulla maastomittaja saa tarkennettua satelliittipaikannuksen metri- luokan tarkkuuden desimetritasolle mittaamalla sijaintipisteestään suuntia ja etäisyyksiä puihin, jotka ovat kaukokartoituksen keinoin mitattuja. Tällöin tukipisteputia ei identifioi ja laputa maastomittaja, vaan ne identifioi tietokonealgoritmi ja tuloksena saadaan mittajan tarkka sijainti. Tämänkaltaisesta sovelluksesta on hyötyä kerätessä opetus- ja testausaineistoja kaukokartoitussovelluksissa.

■ MMT Ilkka Korpela, MMM Esko Välimäki, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. Sähköposti ilkka.korpela@helsinki.fi

Lauri Korhonen, Kari T. Korhonen,
Pauline Stenberg, Matti Maltamo ja
Miina Rautiainen

Paikalliset latvuspeittävyysmallit beta-regressiolla

Seloste artikkelista: Korhonen, L., Korhonen, K.T., Stenberg, P., Maltamo M. & Rautiainen, M. 2007. Local models for forest canopy cover with beta regression. *Silva Fennica* 41(4): 671–685.

Tietoa metsikön latvuspeittävydestä tarvitaan mm. metsäekologian sovelluksissa, metsätilastojen laadinnassa ja kaukokartoitusmenetelmien kehittämisessä. Latvuspeittävyden tarkka mittaaminen maastossa on kuitenkin hidasta, joten tiedon nopeaan tuottamiseen tarvitaan uusia menetelmiä. Eräs vaihtoehto on ennustaa latvuspeittävyys tilastollisella mallilla helpommin mitattavien puustotunnusten avulla. Tutkimuksessa laadittiin paikallisia latvuspeittävyysmalleja käyttäen uudehkoa beta-regressiomenetelmää, joka soveltuu erityisesti prosentiosuuksien mallittamiseen. Beta-regressiossa oletetaan mallin residuaalien noudattavan normaalijakauman sijasta betajakaumaa, mikä

on suhteellisia osuuksia mallitettaessa usein käytännöllisempää. Beta-regression toinen etu on mahdollisuus valita linkkifunktio, jonka avulla varmistetaan ennusteen pysyminen välillä [0,1]. Tässä tutkimuksessa käytettiin logistista linkkifunktiota.

Mallinnusaineisto kerättiin Suomenjoella kesinä 2005 ja 2006. Yhteensä mitattiin sata havupuuvältaista 24 m × 25 m:n koealaa, joilta määritettiin puustotunnukset ja latvuspeittävyys Cajanuksen putkella. Aineistoon kuului hyvin erityyppisiä metsiköitä taimikoista uudistuskypsiin ja siemenpuukuvioihin. Mallit laadittiin erikseen mänty- ja kuusivältaisille koealoille R-ohjelman betareg-kirjastoa käyttäen. Malleja testattiin ristiinvalidoinnilla, jossa erityistapauksena tutkittiin aineistoon kuuluneet 19 latvuspeittävyden mittausten menetelmien vertailukoelaa, sekä erillisellä Kolin kansallispuistosta mitatulla testiaineistolla, johon kuului yhteensä 21 koealaa.

Yksinkertaisimmissa malleissa selittäjinä olivat männiköissä puuston pohjapinta-ala, keskipituus ja keskimääräisestä poikkeavaa kasvupaikkatyyppiä kuvaavat dummy-muuttujat. Kuusikoissa kasvupaikkamuuttujat korvasi lehtipuiden osuus pohjapinta-alasta. Näiden mallien keskivirheet olivat mallinnusaineistossa 6,3 (mänty) ja 5,9 (kuusi) prosenttiyksikköä. Ristiinvalidoinnissa keskivirheet olivat vastaavasti 7,0 ja 6,8 prosenttiyksikköä sekä Kolin aineistossa 8,8 ja 7,4 prosenttiyksikköä. Lisäksi testattiin vaihtoehtoisia malleja, joissa selittäjinä käytettiin mm. ikää ja runkolukua. Näin saatiin parannettua mallien toimivuutta sovitusaaineistossa ja ristiinvalidoinnissa, mutta samalla luotettavuus Kolin testiaineistossa heikkeni. Yksinkertaisin mallimuoto lienee siksi käytännössä turvallisin.

Vaihtoehtoisiin latvuspeittävyden maastomittausmenetelmiin verrattaessa parhaatkaan paikalliset regressiomallit eivät yltäneet tarkkuudessa Cajanuksen putkella tehtävän mittauksen tasolle, mutta mallien ennusteet olivat tarkempia kuin muiden nopeiden latvuspeittävyden mittausten menetelmien tuottamat estimaatit. Vaihtoehtoisista menetelmistä ainoastaan silmävarainen arviointi voi yltää samalle tarkkuustasolle, mikäli arvioijalla on aiheesta riittävä kokemus. Yhteenvetona tulokset osoittavat, että latvuspeittävyden tilastollinen mallinnus mitattuihin puustotunnuksiin perustuen on hyvä vaihtoehto erillisille latvuspeittävyysmittauksille, erityisesti jos mittaukseen on käytettävissä vain vähän aikaa. Luo-

tettavuuden takaamiseksi mallin laadinta-aineiston tulisi olla maantieteellisesti kattava. Käytettävissä olevan mallinnusaineiston kasvaessa menetelmää voidaan tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnissa.

■ MMM Lauri Korhonen, prof. Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMT Kari T. Korhonen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö; prof. Pauline Stenberg, MMT Miina Rautiainen, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos
Sähköposti lauri.korhonen@joensuu.fi

Laura Koskela ja Tapio Nummi

Apteeraustuloksen mittarina käytetyn jakauma-asteen tilastollisista ominaisuuksista

Seloste artikkelista: Koskela, L., Sinha, B.K. & Nummi, T. 2007. Some aspects of the sampling distribution of the appor-tionment index and related inference. *Silva Fennica* 41(4): 699–715.

Pohjoismaissa yleisimmin käytetty mitta apteeraustuloksen mittaamiseen on ns. jakauma-aste. Jakauma-aste vertaa tukkiluokkien toteutuneita suhteellisia osuuksia tavoitteeksi asetettuihin. Se on laskennallisesti yksinkertainen ja tulkinnallisesti selkeä. Jakauma-astetta on kuitenkin usein kritisoitu esimerkiksi siksi, että vertailu tehdään vain suhteellisille osuuksille ja kullekin tukkiluokalle annetaan samanlainen painoarvo, vaikka toiset luokat ovat selvästi arvokkaampia kuin toiset. Mittaa onkin viime aikoina kehitelty niin, että tukkiluokille voidaan antaa myös erisuuruisia painoarvoja, esimerkiksi hintoja. Lisäksi on kehitelty erilaisia vaihtoehtoisia mittareita. Ongelmaksi näissä kehittyisissä muodostuu usein kuitenkin se, että kehitettyjen mittareiden teoreettisia ominaisuuksia ei yleensä tunneta.

Tämän tutkimuksen keskeinen tavoite on jakauma-asteen tilastollisten ominaisuuksien tutkiminen. Jakauma-asteen odotusarvo ja varianssi johdetaan käyttämällä suurten otosten normaalijakauma-aproksimaatiota olettaen toteutuneelle tukkijakau-

malle ns. multinomijakauma. Osoittautuu, että sekä jakauma-asteen odotusarvo että varianssi voidaan lausua tukkilukumäärän ja tavoitejakauman suhteellisten osuuksien funktiona. Odotusarvo lähestyy arvoa 1 ja varianssi arvoa 0, kun tukkien lukumäärä kasvaa äärettömän suureksi. Tämä tulisi ottaa huomioon myös saadun jakauma-asteen arvon tulkinnaissa. Normaalijakauma-aproksimaatiota käyttäen olemmekin johtaneet hyväksyttävän jakauma-asteen arvon alarajan lausekkeen. Lisäksi suosituksemme on, että jakauma-asteen odotusarvoa voitaisiin käyttää hyvän yhteensopivuuden rajana.

Olemme tutkineet käyttämiämme aproksimaatioita simulointikokein. Kokeiden perusteella aproksimaatiot näyttäisivät toimivan hyvin. Johtamiemme tulosten avulla olemme tarkastelleet tavoitejakauman muodon vaikutusta tarvittavaan tukkilukumäärään, jos tavoitteeksi asetetaan korkea jakauma-asteen arvo. Tarkastelujen perusteella tavoitejakauman muodolla on vaikutusta tarvittavaan tukkilukumäärään. Suurin tukkien lukumäärä tarvitaan, kun tukkiluokkakohtaiset tavoitteet ovat kaikki yhtäsuuria.

■ FT Laura Koskela, FT Tapio Nummi, Tampereen yliopisto, matematiikan, tilastotieteen ja filosofian laitos. Sähköposti laura.koskela@uta.fi

Katri Luostarinen

Lustojen suunnan ja kuivausmenetelmän vaikutus koivulautojen muodonmuutoksiin, pintakovuuteen ja väriin

Seloste artikkelista: Luostarinen, K. 2007. The effect of annual ring orientation and drying method on deformations, casehardening and colour of silver birch (*Betula pendula*) boards. *Silva Fennica* 41(4): 717–730.

Sahatavaran muodonmuutoksia, joiden pääasiallinen aiheuttaja on anisotrooppinen kutistuminen, on mahdollista osittain hallita ja ohjata säätelemällä lustojen suuntaa saheissa erilaisilla sahaustavoilla. Luston suunta saheessa vaikuttaa myös veden liikkumisen nopeuteen laudan sisällä kohti saheen

pintaa, sillä vesi kulkee hitaammin tiheimmän myöhäispuun (kesäpuun) kuin varhaispuun (kevätpuun) läpi. Kuivumisen nopeus puolestaan vaikuttaa puun tummumiseen.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää värin ja pintakovuuden yhteys saheessa kuivauksen jälkeen sekä lustojen suunnan ja kuivausmenetelmän vaikutus muodonmuutoksiin, pintakovuuteen ja väriin. Tutkimuksen lähtökohta oli käytännönläheinen: käytetty sahausmenetelmä oli sellainen, jota käytetään koivuparkettiaihioita sahaavissa sahalaitoksissa, ja käytetty lajitteluperuste, vuosilustojen suunta, oli sellainen, jota voisi olla mahdollista soveltaa ko. sahoilla.

Rauduskoivutukit sahattiin 30 mm × 70 mm × 1200 mm:n laudoiksi. Lustojen suunta lautojen lapepinnalla määritettiin tangentialiseksi tai säteen suuntaiseksi sen mukaan, kumpi oli lähempänä. Laudat kuivattiin joko perinteisellä lämminilmakuivausmenetelmällä tai alipainemenetelmällä laboratoriotilaisissa kuivausaineissa, tavoitteena 5 %:n kosteussuhde. Käytetyillä kuivauskaavoilla pyrittiin pikemminkin tuottamaan kuivausvirheitä saheisiin kuin mahdollisimman hyvälaatuisia sahatavaraa, sillä haluttiin saada aikaiseksi kokoluokaltaan mitattavissa olevia muodon- ja värinmuutoksia. Kuivauksen loputtua laudoista mitattiin kosteussuhde saheiden pinta- ja sisäosissa, kierous, lape- ja syrjäväyryys, kuppiutuminen, pintakovuus sekä heijastusspektri ohuesti höylätystä pinnasta sekä halkaisun jälkeen höylätystä sisäosasta.

Sekä kuivausmenetelmä että lustojen suunta vaikuttivat kuivattujen lautojen kosteussuhteeseen ja kosteusgradienttiin. Kosteussuhde ja -gradientti olivat pienempiä alipainekuivatuissa kuin lämminilma-kuivatuissa laudoissa. Lappeeltaan säteensuuntaisten lautojen keskimääräinen kosteussuhde sekä kosteusgradientti kuivauksen loputtua olivat pienempiä kuin lappeeltaan tangentialisten lautojen.

Lautojen pintaväri puolestaan oli sitä vaaleampi ja vähemmän keltainen mitä pienempi pinnan kosteussuhde oli. Siten lappeeltaan säteen suuntaisten lautojen pintaväri oli vaaleampi kuin tangentialisten lautojen pintaväri. Pintakovuus oli pienempi laudoissa, joissa lape oli säteen suuntainen kuin laudoissa, joissa lape oli tangentialinen. Lisäksi pintaväri korreloi pintakovuuden kanssa luston suunnan mukaan jaoteltaessa: mitä vaaleampi lautojen pintaväri oli, sitä suurempi oli pintakovuus. Alipainekuivatuissa

laudoissa pintavärin ja pintakovuuden korrelaatio oli päinvastainen.

Muodonmuutokset olivat suurempia lappeeltaan säteensuuntaisissa kuin tangentialisissa laudoissa. Poikkeuksena oli kuppiutuminen, joka oli suurempaa tangentialisissa laudoissa. Kuivausmenetelmä ei aiheuttanut eroja lautojen muodonmuutoksiin. Hyvin pienet erot lautojen tilavuudessa sen sijaan aiheuttivat eroja sekä väriin että muodonmuutoksiin. Mitä suurempi laudan tilavuus oli, sitä tummempi se oli kuivauksen jälkeen. Useimmissa tapauksissa, joissa muodonmuutoksen ja laudan koon välillä havaittiin korrelaatio, se oli negatiivinen eli mitä suurempi oli lauta, sitä pienempi oli muodonmuutos; vääristyminen kuitenkin oli joissain tapauksissa sitä suurempaa mitä suurempi oli laudan tilavuus.

Tulosten mukaan laudan pintavärin ja pintakovuuden välillä on yhteys. Luston suunnan mukaan jaoteltaessa se oli odotetunlainen: mitä vaaleampi pinta, sitä suurempi pintakovuus, sillä kumpikin johtuvat pintakerroksen kuivumisen suuresta nopeudesta. Alipainekuivauksessa sen sijaan tumma pintakerros voi kuvastaa nopeasti kuivunutta laudan pintaa, sillä ko. menetelmässä kuivuminen tapahtuu eri tavoin kuin lämminilmakuivauksessa: alipaineessa vesi poistuu puusta pääasiassa syiden (ja samalla laudan) pituussuuntaan avoimien putkimaisten solujen ja huokosten kautta. Näin ollen kuivempaa pintakerrosta ei lautaan pitäisi syntyä. Saheen pintaan sen sijaan muodostuu vyöhyke, jossa veden kiehumislämpötila on pienempi kuin puun lämpötila. Nopea höyrystyminen yhdessä poikkeuksellisen lämpötilasapainon kanssa saattaa aiheuttaa pintakerroksessa sijaitsevien yhdisteiden voimakkaan tummumisen.

Käytännössä samassa erässä kuivattujen saheiden välillä voi olla varsin suuri kosteusvaihtelu ja -gradientti, joita kumpaakin voitaisiin pienentää lustojen suunnan mukaisella lajittelulla ja kuivauskaavojen optimoinnilla luston suunnan suhteen eri tyyppisille saheille. Samalla pystyttäisiin minimoimaan saheiden loppuvärin hajonta. Yllättävän pienet erot saheiden tilavuudessa – syynä voi olla myös sahauspäätarkkuuden aiheuttama lievästi epäsäännöllinen muoto – vaikuttivat väriin ja muodonmuutosten suuruuteen.

■ MMT Katri Luostarinen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta
Sähköposti katri.luostarinen@joensuu.fi

Timo Saksa ja Jari Miina

Varhaisperkauksen vaikutus männyn taimien elossa oloon, kasvuun ja lehtipuuston aiheuttamiin latvavaurioihin

Seloste artikkelista: Saksa, T. & Miina, J. 2007. Cleaning methods in planted Scots pine stands in southern Finland: 4-year results on survival, growth and whipping damage of pines. *Silva Fennica* 41(4): 661–670.

Suosittelava männyn istutustaimikoiden perustamistiheys on vähintään 2 000 tainta hehtaarilla. Uudistamisen varhaisinventointien mukaan männyn istutustaimikoissa kasvatettavien havupuun taimien määrä jää yleensä tasolle 1 500–2 500 tainta hehtaarilla, mikä on männyn puuaineen laatukehitystä ajatellen liian alhainen kasvatustiheys taimikkovaiheessa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin voidaanko luontaisesti syntyneen koivun avulla lisätä taimikon tiheyttä niin, ettei lehtipuusto nopeammasta pituuskehityksestään huolimatta aiheuta männyn taimien kasvun heikkenemistä, lisää taimien kuolleisuutta tai mekaanisia vaurioita männyn latvuihin. Tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisten varhaisperkaustapojen ja käsittelyn ajoituksen vaikutuksia männikön kehitykseen.

Optimaalisen perkauskäsittelyn selvittämiseksi vuonna 1998 perustettiin järjestetty varhaisperkauksen koe kolmeen 1,5 metrin ja kahteen 3 metrin pituusvaiheessa olleeseen männyn istutustaimikkoon Etelä-Suomessa. Käsittelyinä olivat käsittelemätön, lehtipuiden täysperkaus, lehtipuiden reikäperkaus (alle 1 m:n etäisyydeltä) ja kilpailevien lehtipuiden latvonta (noin 1,3 m:n korkeudelta alle 1 m:n etäisyydeltä). Ennen varhaisperkausta käsittelyruuduilla oli keskimäärin 1 400–2 400 kasvatuskelpoista mäntyä ja 4 600–11 500 lehtipuuta hehtaarilla. Lehtipuiden keskipituus oli hiukan alhaisempi kuin männyn taimien keskipituus.

Neljä vuotta kokeen perustamisesta tehdyt mittaukset osoittivat, että nuoremmassa taimikoissa (keskipituus 3,7 m) kaikki perkauskäsittelyt vähensivät männyn taimien kuolleisuutta ja lisäsivät läpimitan kasvua. Mäntyjen pituuskasvu oli nopeampaa reikä-

perkaus- ja latvontakäsittelyiden jälkeen kuin täysperkauksen jälkeen. Vanhemmissa taimikoissa (keskipituus 5 m) perkauskäsittelyllä ei ollut vaikutusta taimien kuolleisuuteen eikä kasvuun.

Koetta perustettaessa nuoremmassa taimikoissa oli 7 %:lla männystä merkittävä lehtipuuston aiheuttama latvavaurio ja neljä vuotta myöhemmin niiden osuus oli noussut 13 %:iin perkaamattomilla ruuduilla. Vastaavasti vanhemmissa taimikoissa merkittävien latvavaurioiden osuus kasvoi 12 %:sta 29 %:iin ilman perkausta. Reikäperkaus ja täysperkaus vähensivät merkittävästi lehtipuiden männylle aiheuttamia latvavaurioita sekä nuoremmassa että vanhemmissa taimikoissa. Lehtipuiden latvonta vähensi männyn latvavaurioita ainoastaan vanhemmissa taimikoissa. Nuoremmassa taimikoissa latvotut lehtipuut jatkoivat pituuskasvuun sivuoksasta ja saavuttivat muutamassa vuodessa kasvatettavien mäntyjen pituuden.

Kokeista saadut alustavat tulokset osoittivat, että myös reikäperkausta voidaan käyttää noin 1,5 metrin pituusvaiheessa olevien männyn istutustaimikoiden varhaisperkausmenetelmänä. Kun täysperkaus tai reikäperkaus tehtiin ennen kuin lehtipuiden valtapituus ylitti 2,5 m, säästyi yli 80 % kasvatettavista männystä merkittävilta lehtipuiden aiheuttamilta latvavaurioilta. Varhaisperkausmenetelmien pitempiäaikaisia vaikutuksia mm. männyn taimien ulkoiseen laatuun tullaan analysoimaan ja taimikonhoidon kokonaiskustannukset laskemaan kun kokeen taimikot ovat harvennussvaiheessa (valtapituus noin 8 m).

■ MMT Timo Saksa, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimintayksikkö; MMT Jari Miina, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö
Sähköposti timo.saksa@metla.fi

Henri Vanhanen, Timo O. Veteli ja
Pekka Niemelä

Mallinnuksen käyttö arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutusta havu- ja lehtinunnan levinneisyyteen

Seloste artikkelista: Vanhanen, H., Veteli, T.O., Päivinen, S., Kellomäki, S. & Niemelä, P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica* 41 (4): 621–638.

Ympäristötekijät, joihin globaali ilmastonmuutos vaikuttaa, määrittävät eliöiden levinneisyysalueiden rajat. Eritoten vaihtolämpöisten eläinten levinneisyysalueiden odotetaan siirtyvän pohjoiseen ilmaston lämmetessä seuraavan sadan vuoden aikana. Simuloimme CLIMEX-mallinnusohjelmistoa käyttäen käynnissä olevan ilmastonmuutoksen vaikutuksia kahden Keski-Euroopassa pahoja metsätuhoja aiheuttavan perhoslajin, havu- (*Lymantria monacha*) ja lehtinunnan (*L. dispar*), levinneisyyteen.

Ohjelmisto laskee ekoklimaattisen indeksin perustuen lajin elinkierto vaatimuksiin ja tämä kuvaa elinkelpoisen populaation esiintymisen todennäköisyyttä tietyssä paikassa. Käytimme mallinnuksessa kolmea erilaista ilmastoskenaariota: 1,4, 3,6 ja 5,8 °C:n nousua vuotuisissa keskilämpötiloissa.

Nykyisten ilmasto-olosuhteiden simulaatiot vastasivat hyvin nykyistä levinneisyysaluetta. Ilmaston lämmetessä molempien lajien pohjoisraja siirtyi pohjoiseen n. 500–700 km. Myös eteläinen raja siirtyi pohjoiseen 100–900 km riippuen lajista ja ilmastoskenaariosta. Simulaatioiden tulokset vastasivat hyvin kirjallisuudesta löytyvillä toisilla lajeilla saavutettuja empiirisiä tuloksia. Koska nämä lajit ovat vakavia metsätuholaisia nykyisen levinneisyytensä ydinalueilla, lajien levinneisyysalueiden muutokset muuttavat myös todennäköisesti tuhojen esiintymisalueita vastaavasti. Tällöin lajien aiheuttamat riskit metsätaloudessa on otettava huomioon suunniteltaessa metsien käyttöä.

■ FM Henri Vanhanen, prof. Pekka Niemelä, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; FT Timo Veteli, Joensuun yliopisto, biotieteiden tiedekunta
Sähköposti timo.veteli@joensuu.fi