

Mikko Havimo, Juha Rikala, Jari Sirviö ja
Marketta Sipi

Trakeidien poikkileikkaus- dimensioiden jakaumia kuusen rungon eri osissa

Seloste artikkelista: Havimo, M., Rikala, J., Sirviö, J. & Sipi, M. 2008. Distributions of tracheid cross-sectional dimensions in different parts of Norway spruce stems. *Silva Fennica* 42(1): 89–99.

Havupuiden puuaineesta 94 % on trakeideja, jotka ovat noin 1–3 mm pitkiä ja noin 25–34 µm halkaisijaltaan olevia onttoja soluja. Suuren osuutensa vuoksi trakeidien dimensiot vaikuttavat merkittävästi metsäteollisuustuotteiden, kuten paperin, ominaisuuksiin. Trakeidien dimensioissa on kuitenkin huomattavaa vaihtelua, joka on valmistuksen ja lopputuotteiden kannalta ongelmallista. Tämä vaihtelu herättää kaksi kysymystä: kuinka suurta se on, ja kuinka sitä voitaisiin kontrolloida?

Trakeidien dimensioista on eniten tutkittu pituutta, mutta poikkileikkausdimensiot ja niiden vaihtelu tunnetaan melko huonosti. Dimensioista esitetään kirjallisuudessa yleensä keskiarvo ja siihen liittyvä hajontaluku. Ongelmana tällaisessa lähestymistavassa on se, että periaatteessa kahdella hyvin erilaisella ominaisuusjakaumalla voi olla sama keskiarvo. Hajontaluku tietysti kertoo jo enemmän jakauman muodosta, mutta paras tilanne saavutetaan vasta kun pystytään esittämään ominaisuuden vaihtelu jakaumakuvaajien avulla.

Puuraaka-aineen haitallisen vaihtelun vähentämiseksi on massa- ja paperiteollisuudessa esitetty erilaisia kontrollimenetelmiä. Ongelmaan on kaksi lähestymistapaa, joista toisessa raaka-aine luokitellaan pölkkyinä ennen haketusta kahteen tai useampaan luokkaan. Toisessa taas kuidut fraktioidaan massan

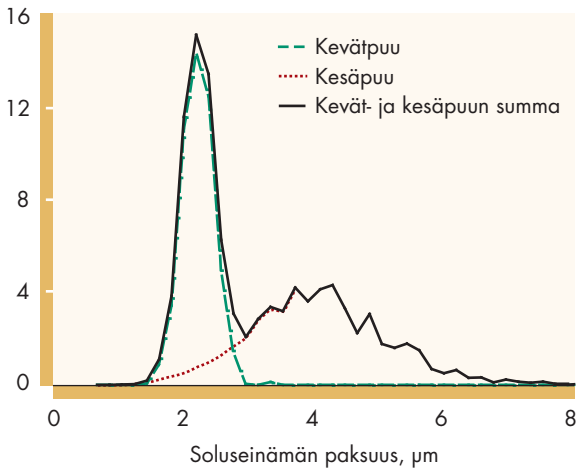
valmistuksen jälkeen esimerkiksi hydrosyklonilla. Vaikka Suomessa ei tällä hetkellä käytetä kumpakaan tapaa teollisessa mittakaavassa, niin raaka-aine saatetaan silti jakaa massan valmistuksessa kahteen luokkaan: sahanhakkeeseen ja kuitupuuhun.

Tässä tutkimuksessa käsitellään kuusen (*Picea abies*) trakeidien poikkileikkausdimensioiden, eli seinämän paksuuden sekä säteen ja tangentin suuntaisen läpimitan, jakaumia erilaisissa puutavara-lajeissa. Ositteina olivat koko runko, latvakuitupuun ja sahanhake. Tutkimuksen aineistona on yhdestä eteläsuomalaisesta päätehakuuleimikosta koottu viiden puun otos. Yhdestä puusta otettiin kymmeneltä korkeudelta kiekot, niin että aineisto käsitti kokonaisuudessaan 50 kiekkoa. Kiekoista mitattiin SilviScan-laitteistolla poikkileikkausdimensiot ytimestä pintaa ulottuvalta mittajanelta.

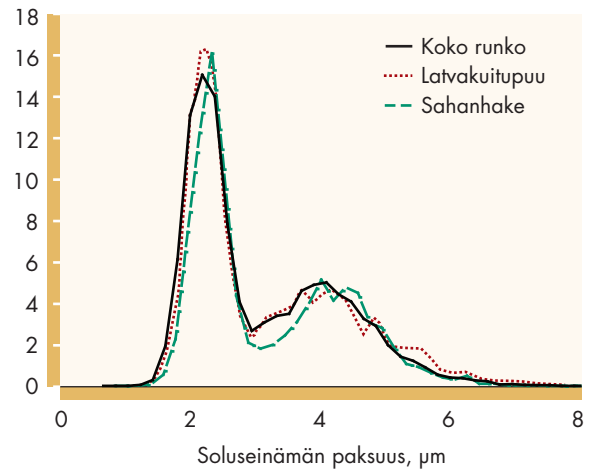
Aineiston analysoimiseksi kehitettiin oma tietokoneohjelma, joka kirjoitettiin *Mathematica*-ohjelmointikielellä. Ohjelma käyttää puukohtaista mitaustietoa tuottamaan virtuaalisen puun. Leimikon runkolukujakaumaa hyväksikäyttäen pystyttiin näistä puista muodostamaan virtuaalinen leimikko. Tämä taas apteerattiin kuitupuuksi ja tukkipuiksi, joista jälkimmäisestä vielä erotettiin sahanhake omaksi ositteekseen. Lopuksi jakaumakuvaajat laskettiin kaikille kolmelle ositteelle.

Kuva 1 esittää seinämän paksuuden jakaumaa koko rungossa. Seinämän paksuuden vaihtelu on suurta kevätpuun ja kesäpuun välillä sekä melko suurta kesäpuun sisälläkin. Sen sijaan kevätpuun seinämän paksuus vaihtelee verrattain vähän. Trakeidin säteen suuntaisen läpimitan jakauma on samantyyppinen kuin seinämän paksuuden jakauma. Kevätpuu ja kesäpuu muodostavat kaksi erilaista ositetta, joista kevätpuun jakauma on hyvin kapea ja kesäpuun leveä. Tangentin suuntaisen läpimitan jakauma on taas molemmilla lähes normaalijakauman muotoinen, eikä kevätpuun ja kesäpuun välillä ole suurtakaan eroa.

Kevätpuun ja kesäpuun erot näkyvät myös rungon keskiarvoissa: massalla painotettu seinämän paksuu-



Kuva 1. Soluseinämän paksuuden jakauma koko rungossa. Kevätpuun ja kesäpuun kuvaajat esittävät niiden osuutta kokonaisuudesta.



Kuva 2. Soluseinämän paksuuden jakauma eri ositteissa.

den keskiarvo on kevätpuussa 2,1 µm ja kesäpuussa 3,9 µm. Vastaavasti säteen suuntainen läpimitta on kevätpuussa 33 µm ja kesäpuussa 25 µm. Tangentin suuntainen läpimitta eroaa kahdesta muusta dimensioista myös keskiarvon suhteen, sillä ero kevätpuun 31 µm:n läpimitan ja kesäpuun 30 µm:n välillä on hyvin pieni.

Puutavaralajien välillä erot dimensioissa ovat pienempiä kuin tavaralajien sisällä (kuva 2). Siten suurin osa poikkileikkausdimensioiden vaihtelusta näyttäisi johtuvan kevätpuun ja kesäpuun välisestä vaihtelusta, ei niinkään esimerkiksi nuorpuun ja aikuispuun välisestä vaihtelusta. Tätä voi havainnollistaa massapainotetuilla keskiarvoilla, sillä seinämän paksuus kevätpuussa on 2,1 µm latvakuitupuussa ja 2,2 µm sahanhakkeessa. Erot sahanhakkeen ja kuitupuun välillä ovat hyvin pienet, millä taas on suora vaikutus käytännön kontrollimenetelmiin. Lajittelu sahanhakkeeseen ja latvakuitupuuhun ei ole kovinkaan tehokas menetelmä, kun taas kuitujen fraktiointi massan valmistuksen jälkeen voisi olla varsin tehokasta, varsinkin jos fraktioinnissa pystytään erottelemaan kevätpuu- ja kesäpuutrukeidit.

■ MMM Mikko Havimo, MMT Juha Rikala, prof. Marketta Sipi, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos; MMT Jari Sirviö, KCL. Sähköposti mikko.havimo@helsinki.fi

Mika Nieminen, Mikko Moilanen ja
Sirpa Piirainen

Tuhkalannoitteiden fosforin pidättyminen turpeeseen – miksi pidättyminen on tehokasta turpeen huonosta sitomiskyvystä huolimatta?

Seloste artikkelista: Nieminen, M., Moilanen, M. & Piirainen, S. 2007. Phosphorus allocation in surface soil of two drained peatland forests following wood and peat ash application – why effective adsorption on low sorptive soils? *Silva Fennica* 41(3): 395–407.

Hyvälaatuinen puutuhka ja kaupalliset kalsiumfosfaattia sisältävät fosforilannoitteet antavat useimmiten hyvin samanlaisia kasvutuloksia ojitetuissa suometsissä. Ne kuitenkin eroavat toisistaan siten, että kaupallisista lannoitteista usein huuhtoutuu fosforia vesistöihin, kun taas tuhkalannoitusalueilta huuhtoumat ovat eri tutkimuksissa olleet hyvin vähäisiä. Syytä tuhkalannoitusalojen vähäiseen huuhtoutumiseen tutkittiin keräämällä turvenäyttei-

tä kahdelta ojitusalueelta ennen tuhkalannoitusta ja 1–4 vuotta lannoituksen jälkeen. Turvenäytteistä analysoitiin nk. Changin fraktiointimenetelmällä helppoliukoinen sekä alumiinin, raudan ja kalsiumin sitoma fosfori.

Jo kauan on tiedetty, että turvemaille ominainen fosforin suuri huuhtoutumisriski johtuu turpeen heikosta fosforinpidätyskyvystä, mikä taas on seurausta fosforia pidättävien alumiini- ja rautaoksidien ja -hydroksidien alhaisista pitoisuuksista. Lisäksi pidätyspaikat alumiini- ja rautayhdisteiden pinnoilla ovat turvemaille usein erilaisten humusyhdisteiden ”kyllästämiä”, jolloin fosfaatti ei voi niille pidätyä. Tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittivat, että tuhkalannoitusalueilla huomattava osa tuhkasta vapautuvasta fosforista sitoutui alumiini- ja rautayhdisteiden kanssa. Tämä sitoutuminen todennäköisesti suurelta osin selittää sen, miksi tuhkalannoitusaloilta ei ole tutkimuksissa juurikaan huuhtoutunut fosforia.

Fosforin tehokas sitoutuminen alumiini- ja rautayhdisteiden kanssa tuhkalannoitusaloilla voi johtua kahdesta tekijästä. Ensinnäkin tuhka ei sisällä pelkästään fosforia ja muita ravinteita, vaan tuhkan mukana turpeeseen lisätään huomattavia määriä alumiinia ja rautaa. Tämä periaate sitoutumista tehostavien yhdisteiden käytöstä yhdessä fosforin kanssa oli perustana myös nykyisin käytössä olevan kaupallisen suometsälannoitteen Rauta-PK:n kehitystyössä. Toinen fosforin sitoutumista edistävä tekijä tuhkalannoitusalueilla on tuhkan kalkitusvaikutus, joka voi johtaa fosforin pidättymistä haittaavien metalli-humus-kompleksien purkautumiseen ja siten parantaa rauta- ja alumiiniyhdisteiden fosforinsitomiskykyä.

Fosforin voimakas sitoutuminen alumiinin ja raudan kanssa on epäilemättä myönteinen asia vesiensuojelun näkökulmasta, mutta puuston fosforin saantia sen on epäilty vaikeuttavan. Kivennäismaila tehtyjen tutkimusten perusteella puuston tiedetään hyödyntävän alumiinin ja raudan sitomaa fosforia sienijuurista erittyvien orgaanisten happojen tai anionien avulla. Turvemaille alumiinin ja raudan sitoman fosforin vapautumismekanismit tunnetaan huonosti. Suopuustojen hyvä kasvu tuhkalannoituskokeilla vielä vuosikymmeniä lannoituksen jälkeen viittaa kuitenkin siihen, että helpoimmin vapautuvien yhdisteiden lisäksi puusto pystyisi hyödyntä-

mään myös näitä voimakkaasti sitoutuneita fosforireservejä.

■ MMT Mika Nieminen, Metla, Vantaan toimintayksikkö;
MH Mikko Moilanen, Metla, Muhoksen toimintayksikkö;
MMT Sirpa Piirainen, Metla, Joensuun toimintayksikkö.
Sähköposti mika.nieminen@metla.fi

Yrjö Nuutinen, Kari Väätäinen,
Jaakko Heinonen, Antti Asikainen ja
Dominik Röser

Työntutkijan vaikutus maastotallentimella mitatun aika-tutkimuksen mittaustarkkuuteen hakkuukonesimulaattori-hakkuussa

Seloste artikkelista: Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Heinonen, J., Asikainen, A. & Röser, D. 2008. The accuracy of manually recorded time study data for harvester operation shown via simulator screen. *Silva Fennica* 42(1): 63–72.

Viimeisten 20 vuoden aikana metsäteknologisten aikatutkimusten ajanottotekniikat ovat kehittyneet käsikelloista 2000-luvun metsäkoneisiin asennettuihin automaattisiin tiedonkeruulaitteisiin. Metsäkoneiden toimintojen tallennuslaitteet keräävät konetietoja tarkasti ja yksityiskohtaisesti ennakkoon määritetyillä työvaiheaseteilla. Metsäkoneen työn tutkiminen vaatii tulevaisuudessa työajan jakoa entistä pienempiin osa-aikoihin, mikä herättää kysymyksen, kuinka pieniä osa-aikoja ihminen kykenee luotettavasti mittaamaan. Työntutkijan vaikutusta hakkuukoneen aikatutkimuksen mittaustarkkuuteen ja tutkimuksen tulosten luotettavuuteen ei ole aiemmin juurikaan tutkittu.

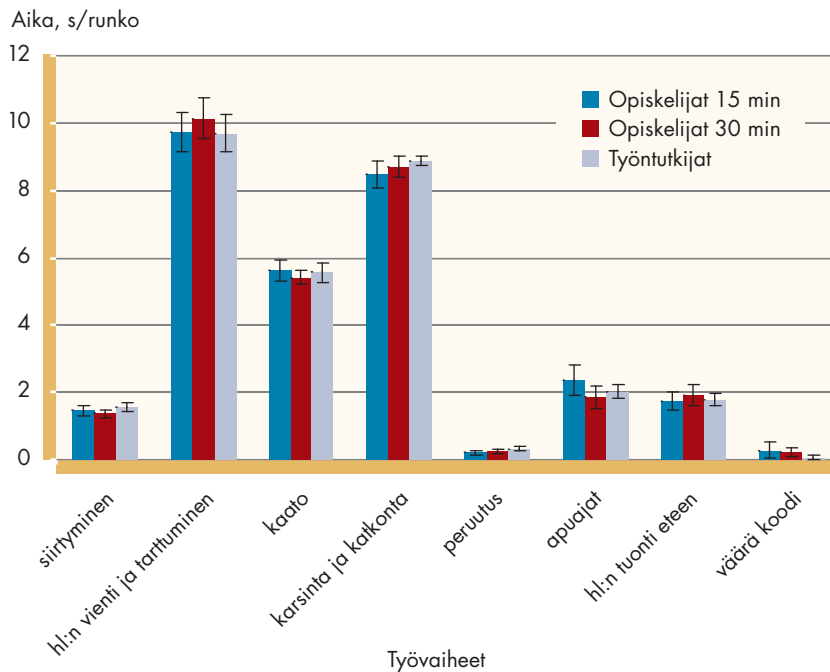
Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää työaikatutkijoiden työkokemuksen vaikutusta mittaustarkkuuteen ja mittaajakohtaiseen vaihteluun hakkuukoneen työaikatutkimuksessa, kun työaikaa mitattiin elektronisilla maastotallentimilla. Tavoitteena oli myös

tutkia onko mittausvirheillä ja tutkijoiden välisillä mittauseroilla vaikutusta työaikatutkimuksen ajanmenekkirakenteisiin.

Aikatutkimuksen mittaja-aineisto jaettiin 3 eri ryhmään harjaantumistason mukaan. 20 kokemattonta opiskelijaa ja 10 kokenutta työntutkijaa seurasivat videoitua hakkuukonesimulaattorihakkuuta television kuvaruudusta laboratorio-olosuhteissa. Opiskelijat jaettiin harjaantumistasoltaan kahteen eri ryhmään: opiskelijat 15 minuutin etukäteisharjoittelulla (opiskelijat 15 min) ja opiskelijat 30 etukäteisharjoittelulla (opiskelijat 30 min). Työntutkijoiden ryhmässä kaikilla mittaajilla oli aikaisempaa kokemusta aikatutkimusaineiston keräämisestä. Mitattava työsuoritus oli ensiharvennushakkuuta ja se kesti 40 minuuttia. Videokuvan hakkuunäkemä oli hakkuukoneen hytistä. Hakkuunäkemä seurasi koko ajan hakkuulaitetta ja sen lähiympäristöä simulaattorihakkuun aikana. Mitattavat työvaiheet jaettiin tutkimuksessa puun käsittelyyn välittömästi kohdistuviin *päätyövaiheisiin* ja välillisiin *aputyövaiheisiin*.

Päätyövaiheita ovat hakkuulaitteen vienti ja tarttuminen, kaato sekä prosessointi (karsinta ja katkonta). Aputyövaiheisiin kuuluvat siirtyminen, hakkuulaitteen tuonti eteen, peruutus sekä apuajat (kuten työn suunnittelu). Kaikille mittaajille annettiin ennen varsinaista tutkimusta sama perehdyttämiskäsi. He mittasivat hakkuun eri työvaiheet maastotallentimilla. Kaato- sekä karsinta ja katkonta -työvaiheita analysoitiin perusteellisemmin: mittaajien keräämiä työvaiheiden pituuksia verrattiin hakkuukoneen automaattisen tallentimen mittaamiin vastaaviin referenssiarvoihin, jolloin saatiin selville mittaajien puukohtaiset mittausvirheet. Mittausvirheiden keskiarvoa ja sen vaihtelua testattiin myös tilastollisesti harjaantumisryhmien kesken.

Mittaajakohtaisissa päätyövaiheiden kokonaismäärissä ei ollut selviä eroja eri harjaantumisryhmien välillä. Myöskään 2 sekunnin aikaluokissa mitattujen päätyövaiheiden lukumäärissä ei ollut merkittäviä eroja. Sen sijaan aputyövaiheiden tallennuksessa havaittiin harjaantumisryhmien välillä selviä



Kuva 1. Aikatutkimuksessa käytettyjen työvaiheiden keskimääräinen ajanmenekkirakenne harjaantumisryhmittäin, sekuntia/runko. Virhejanat ovat harjaantumisryhmien keskiarvojen 95 % luottamusvälejä.

eroja. Niitä opiskelijat 15 min mittasivat keskimäärin 16 % vähemmän kuin kokeneimmat työntutkijat. Suurimmat erot ryhmien välillä havaittiin apu-työvaiheiden lyhyissä aikaluokissa. Korkeintaan 2 sekunnin pituisia apu-työvaiheita opiskelijat 15 minuutin harjoittelulla mittasivat 44 % vähemmän kuin työntutkijat ja korkeintaan 4 sekunnin apu-työvaiheilla vastaava ero oli 35 %. Korkeintaan 4 sekunnin pituisia mittauksia oli 51 % apu-työvaiheiden kokonaismäärästä.

Harjaantumisryhmien väliset erot aikatutkimuksen työvaiheiden keskimääräisissä ajanmenekeissä eivät olleet merkittäviä (kuva 1). Yksittäisten tutkijoiden mittaustulokset erosivat kuitenkin paljonkin toisistaan työvaiheesta riippuen. Suurin ero oli hakkuulaitteen vienti ja tarttuminen -työvaiheessa, jossa pienimmän mittaajakohtaisen keskiarvon ero suurimpaan oli 34 %. Huomionarvoista on, että kun tutkijoiden harjaantumistaso kasvoi niin mittaustulosten vaihtelu pieneni, mitä havainnollistavat kuvan 1 virhejanat. Suurimmat poikkeamat hakkuukoneen automaattisen tallentimen referenssiarvoista sekä kaadossa että karsinnassa ja katkonnassa oli opiskelijat 15 min -ryhmässä. Karsinnan ja katkonnan puukohtaisista mittaustuloksista työntutkijoiden ryhmässä 62 % oli enintään $\pm 0,5$ sekuntia sekä vastaavasti opiskelijat 30 min -ryhmässä 47 % ja opiskelijat 15 min -ryhmässä 33 %. Vaikka harjaantumattomat opiskelijat tekivät kokeneempia työntutkijoita enemmän mittaustuloksia, mittaustulosten keskiarvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri harjaantumisryhmien välillä. Puukohtaiset mittaustulosten varianssit olivat kuitenkin selvästi suurempia opiskelijoilla kuin työntutkijoilla varsinkin karsinta ja katkonnassa -työvaiheessa. Varianssien erot olivat tilastollisesti merkitseviä ja ne heijastuivat suoraan vastaaviin mittaajakohtaisiin ajanmenekkeihin.

Kokeneiden työntutkijoiden aikatutkimukset olivat kontrolloituneempia ja luotettavampia, mutta silti kaikissa harjaantumisryhmissä oli merkittävää vaihtelua mittaustarkkuudessa ja työvaiheiden ajanmenekkirakenteissa. Erot ovat selitettävissä pääasiassa systemaattisilla virheillä, kuten työvaiheiden vaihtumahetkien väärillä tulkinnoilla, reaktioajalla, huolellisuudella ja keskittyneisyydellä, jotka kaikki ovat yksilöllisesti vaihtelevia ominaisuuksia. Hakkuukoneen aikatutkimuksessa todellisessa puunkorjuu-

ympäristössä näköesteet, työvaiheiden ennakointi, monipuolisempi työvaihejako ja mittauksen aikana tapahtuva väsyminen asettavat huomattavasti suuremmat vaatimukset aikatutkijan osaamistasolle.

Nopeatahtisessa hakkuukoneen työaikatutkimuksessa erityisesti mittaajalla on vaikutusta mittaustarkkuuteen ja saatuihin tuloksiin. Aikatutkimusten perusteella tehdään usein pitkälle meneviä päätelmiä eri metsäkoneista ja hakkuumenetelmistä. Tämän takia mittaajan on saatava perusteellinen opastus ja käytännön harjoittelu aikatutkimusaineiston keräämiseen. Aikatutkimusaineistojen luotettavuuden ja yhdenmukaisuuden varmistamiseksi voitaisiin tulevaisuudessa harkita myös työaikatutkijoiden ammattaidon takuiksi koulutusta ja siitä saatavaa henkilökohtaista sertifiointia. Sekä automaattista että manuaalista työajanmittausta tarvitaan tulevaisuudessa. Niiden yhteiskäyttöä olisi kehitettävä luomalla koneellisen puunkorjuun aikatutkimuksille uusi kaikkien tahojen hyväksymä standardi työvaiheista.

■ MMM Yrjö Nuutinen, MMM Kari Väättäinen, VTM Jaakko Heinonen, prof. Antti Asikainen, MMM Dominik Röser, Metsätutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Sähköposti yrjo.nuutinen@metla.fi

Miina Rautiainen, Matti Möttö, Pauline Stenberg ja Sanna Ervasti

Latvusmuodon mittaus ja mallitus metsän fysikaalisia heijastusmalleja varten

Seloste artikkelista: Rautiainen, M., Möttö, M., Stenberg, P. & Ervasti, S. 2008. Crown envelope shape measurements and models. *Silva Fennica* 42(1): 19–33.

Puun latvusmuodon merkitys kaukokartoitusmenetelmien kehittämisessä ja soveltamisessa on monille vielä tuntematon tutkimuskohde. Kaukokuviin tulkinna on keskeistä ymmärtää kuinka metsikön rakenne – tiheys, lehtiala tai latvuston muoto ja tilavuus – vaikuttaa lentokone- tai satel-

liitti-instrumentin mittaamaan heijastussignaaliin. Kääntäen, koska latvusmuodon perusteella voidaan myös erottaa eri puulajeja toisistaan, on aiheen tutkimus viime aikoina saavuttanut aikaisempaa enemmän huomiota. Ekofysiologisiin sovelluksiin jo aiemmin kehitettyjen latvusmuotomallien soveltaminen kaukokartoituksessa ei ole aina mahdollista, sillä kaukokuvien tulkinta asettaa malleille omat vaatimuksensa. Latvusmuotomallien tulee olla yksinkertaisia, vähän ennakkotietoa vaativia ja laskennallisesti tehokkaita – toisin sanoen sovellettavissa nopeasti laajoille kartoitettaville alueille.

Kaukokartoituksen perustutkimusta tehdään matemaattis-fysikaalisilla heijastusmalleilla, joiden avulla voidaan simuloida metsän heijastussuhde eri aallonpituuksilla ja herkkyysanalyysillä tutkia siihen vaikuttavien eri tekijöiden suhteellista merkitystä. Fysikaalisia heijastusmalleja voidaan myös invertoida, eli syöttää niihin kaukokuva ja tuottaa estimaatteja erilaisista metsikkötunnuksista. Heijastusmalleissa käytetään latvusmuotomalleja jakamaan fotonien kulkureitit kahteen osaan: latvusten sisällä kulkevaan ja latvusten väleissä kulkevaan osaan. Latvusten sisällä tapahtuvalle fotonien sironnal- le on kehitetty erilaisia algoritmeja. Yksinkertaisimmissa algoritmeissa oletetaan latvuksen sisäisen aineen olevan tasaisesti jakautunutta lehtimassaa (ns. ”green slime”), kehittyneemmissä algoritmeissa on huomioitu myös lehtien ryhmittymistä versoihin ja oksiin. Latvusmuodon parametrisointi määrää sirottavan aineen tilavuuden ja tuottaa rajat tilavuusintegroinnille. Metsikön heijastussuhteen simuloiminen laajoille alueille ei kuitenkaan ole mahdollista, jos oletetaan monimutkainen latvusrakenne. Näin ollen yksinkertainen latvusmuotomalli, joka on empiirisesti perusteltu ja joka sisältää esimerkiksi lajikohtaisen muotoparametrin, olisi käytännöllisin.

Latvusmuotomallin hyödyntäminen fysikaalisissa heijastusmalleissa metsän kaukokartoituksessa vaatii luonnollisesti maastoaineiston tuekseen. Yksittäisen puun latvusmuodon arvioimiseksi maastossa on kehitetty menetelmiä, jotka perustuvat joko latvuksen projektion mittaamiseen tai latvuksen eri osien (lehtien, oksien ja rungon) paikallistamiseen ja koon mittaamiseen. Mittausmenetelmien perusteella latvusmuotomallit voidaan edelleen jakaa karkeasti kahteen luokkaan: globaaleihin malleihin

ja modulaarisiin malleihin. Globaaleissa malleissa esitetään latvuksen karkea yleismuoto, kun taas modulaarisissa malleissa puun latvusrakenne muodostuu yksityiskohtaisesti rakenne-elementeistään eli moduuleistaan. Molempia mallityyppejä voidaan hyödyntää kaukokartoituksen perustutkimuksessa (esimerkiksi heijastussimuloinneissa ja herkkyysanalyysissä), mutta laaja-alaisissa kartoitussovelluksissa globaalit mallit ovat ainoa varteenotettava vaihtoehto.

Fysikaalisilla heijastusmalleilla tehdyissä teoreettisissa simulointitutkimuksissa on havaittu, että havupuun latvusmuoto ja tilavuus ovat merkittäviä metsikön heijastussuhdetta sääteleviä tekijöitä. Pienoistutkimuksemme tavoitteena oli kerätä esimerkkiaineisto, jota voimme alustavasti hyödyntää havumetsille sopivien fysikaalisten heijastusmallien kehitys- ja sovellustyössä. Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli selvittää kuuselle ja männylle sopivat, yksinkertaiset latvusmuoto- ja tilavuusmallit, joita olisi mahdollista jatkossa integroida heijastusmalleihin (eli käyttää syöttötietona). Tutkimuksemme latvusmuoto määriteltiin yksinkertaisesti uloimmaksi sileäksi pinnaksi (tai minimitilavuudeksi), joka sisältää puun kaikki fytoelementit eli vihreät lehdet tai neulaset.

Kesällä 2005 mittasimme aiemmin kehittämällemme kulmamittaustekniikalla Suomenjoella 250 m:n ja 180 kuusen latvusprofiilit neljässä pääilmansuunnassa. Tarkastelimme lyhyesti latvuksen perusdimensioiden (latvuspituuden, latvuksen leveimmän kohdan korkeuden ja maksimisäteen) suhdetta puun pituuteen, rinnankorkeusläpimittaan ja metsikön runkolukuun. Seuraavaksi sovitimme latvusprofiileihin Lamén perheen käyriä, joiden avulla latvusten konveksisuutta pituussuunnassa voidaan arvioida. Mielenkiintoinen tulos oli, että mittaamamme esimerkkiaineiston männyillä latvuksen yläosa (maksimilavussäteen yläpuolinen osa) oli kartionmuotoisempi kuin kuusella. Latvusten alaosan (maksimilavussäteen alapuolisen osan) profiileissa ei sen sijaan ollut havaittavissa mitään säännönmukaisuutta kummallakaan lajilla. Käytännön sovelluksia ajatellen tarkastelimme myös Lamén käyriä sovitamalla saadun lajikohtaisen latvusmuotoparametrin riippuvuutta metsikkötunnuksista, mutta tiiviitä riippuvuussuhteita ei löytynyt. Latvusten epäsymmetrisyys ilmasuuntien suhteen kasvoi puiden kasvaessa;

mäntyjen latvukset olivat kuitenkin keskimäärin hieman symmetrisempiä kuin kuusen latvukset. Seuraavaksi vertasimme erilaisia latvusmuotomalleilla laskettuja tilavuusestimaatteja mitattuun tilavuuteen (eli mitatuista latvusprofileista suoraan laskettuun tilavuuteen). Tulokset osoittivat, että kartion käyttäminen latvusmuotomallina aliarvioi latvustilavuutta eniten verrattuna muihin yksinkertaisiin, latvuksen perusdimensioista laskettavissa oleviin geometrisiin latvusmuotoihin molemmilla puulajeilla. Yllättävää oli kuitenkin se, että lajikohtaisesta latvusmuotoa kuvaavasta parametrissa (joka saadaan Lamén perheen käyrät sovittamalla) ei ollut hyötyä tilavuusestimaattien parantamisessa – oletamalla latvukset yksinkertaisiksi pyörähdyssellipsoideiksi päästiin yhtä hyvään tulokseen latvustilavuuden arvioinnissa kuin käyttämällä lajikohtaista muotoparametria. Tulevaisuudessa olisi tärkeä kytkeä empiirisesti latvuksen muotoparametri yleisesti mitattuihin metsikötunnuksiin, jolloin muodon lisäksi myös latvustilavuuden ennustaminen muuttuisi mahdolliseksi. Käytössämme olleen aineiston rajallisuus ei mahdollistanut tätä vielä.

■ MMT Miina Rautiainen, Tarton observatorio (Viro) ja Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos; PhD Matti Möttö, Tarton observatorio (Viro); prof. Pauline Stenberg, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos; MMM Sanna Ervasti, Vantaan kaupunki, viheralueyksikkö. Sähköposti miina.rautiainen@helsinki.fi

v ä i t ö s s e l o s t e i t a

Tuula Jyske

Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus kuusen puuaineen ja kuitujen ominaisuuksiin – tuloksia pitkään seuratuilta kenttäkokeilta

Seloste väitöskirjasta: Jyske, T. 2008. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments. *Dissertationes Forestales* 55. 59 s.

Puuaineen ja kuitujen ominaisuuksilla on suuri merkitys puun käyttömahdollisuuksiin raaka-aineena ja puutuotteiden laatuun. Puuaineen ominaisuuksiin vaikuttavat sekä perintö- että ympäristötekijät. Ympäristötekijöistä tärkeimpiä ovat kasvupaikka sekä puiden välinen kilpailu ravinteista, vedestä ja valosta, jotka säätelevät puiden kasvunopeutta. Metsänhoidolla, kuten erilaisilla harvennuksilla ja lannoituksilla, voidaan vaikuttaa puiden kasvunopeuteen ja siten muodostuvan puuaineen ominaisuuksiin.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin harvennuksen ja lannoituksen vaikutuksia kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) puuaineen ominaisuuksiin, kuten tiheyteen, kuidunpituuteen, kuituseinän paksuuteen, soluontelon läpimittaan ja ligniinipitoisuuteen. Puuaineen ominaisuuksia tutkittiin puun tyveltä latvaan sekä ytimeä pintaan. Aineisto (109 puuta) kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen ylläpitämistä, pitkään seuratuista harvennuskokeista Heinolassa ja Punkaharjulla sekä harvennus-lannoituskokeista Parikkalassa ja Suonenjoella. Heinolassa ja Punkaharjulla käsittelyt olivat harventamaton, lievästi tai voimakkaasti harvennettu. Parikkalassa ja Suonenjoella lannoituskäsittelyt olivat lannoittamaton, 150 kg typpeä (N)/ha joka viides vuosi tai 300 kg N/ha joka viides vuosi ja harvennuskäsittelyt viivästetty ensiharvennus, normaali ensiharvennus sekä voimakas ensiharvennus.

Lievä ja voimakas harvennus lisäsivät koepuiden

läpimitan kasvua 24–64 % harventamattomaan koelaan verrattuna. Puuaineen tiheys pieni muutaman prosentin molemmissä käsittelyissä. Voimakkaasti harvennetun koelan puissa kuidut olivat 4–9 % lyhyempiä kuin harventamattoman koelan. Kuituseinän paksuudessa ja kuidun läpimitassa oli vain pieniä eroja eri harvennusvoimakkuuksien välillä.

Harvennus-lannoituskokeissa lannoitus lisäsi koepuiden kasvua noin 40 % verrattuna lannoittamattomaan koelaan. Normaali ensiharvennus lisäsi koepuiden kasvua 8 % ja voimakas ensiharvennus 29 % verrattuna viivästettyyn ensiharvennukseen. Lannoitus laskee puuaineen tiheyttä noin 7 % verrattuna lannoittamattomiin koepuihin. Erot puuaineen tiheydessä eri harvennuskäsittelyiden välillä olivat pieniä. Harvennus- ja lannoituskäsittelyiden vaikutukset kuitujen kokoon ja ligniinipitoisuuteen olivat vähäisiä.

Tulokset osoittavat, että nykyisten harvennus- ja lannoituskäsittelyiden vaikutukset puuaineen tiheyteen, kuidunpitoisuuteen, kuituseinän paksuuteen, soluntelon läpimitaan ja ligniinipitoisuuteen ovat vähäisiä. Puuaineen ja kuitujen ominaisuudet vaihtelevat kuitenkin suuresti puiden ja kasvukausien välillä.

■ FM (väit.) Tuula Jyske, Metla, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti tuula.jyske@metla.fi

Minna Malmivaara-Lämsä

Virkistyskäytön ja pirstoutumisen vaikutukset kaupunkimetsien aluskasvillisuuteen ja maaperän mikrobiyhteisöihin

Seloste väitöskirjasta: Malmivaara-Lämsä, M. 2008. Effects of recreational use and fragmentation on the understory vegetation and soil microbial communities of urban forests in southern Finland. *Dissertationes Forestales* 54. 39 s.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin virkistyskäytön ja pirstoutumisen vaikutuksia kaupunkimetsien aluskasvillisuuteen ja maaperän mikrobiyhteisöön

pääkaupunkiseudulla. Lisäksi verrattiin kolmen yleisimmän metsätyyppin, puolukka- (VT), mustikka- (MT) ja käenkaali-mustikkatyyppin (OMT), aluskasvillisuuden kulutuskestävyyttä.

Työssä havaittiin, että kasvupaikan ravinteisuuden lisääntyessä myös kulutuskestävyys lisääntyi. Tutkituista metsätyypeistä herkin oli puolukkatyyppin kuivahko kangas (VT) ja kestävin käenkaalimustikkatyyppin lehtomainen kangas (OMT). Aluskasvillisuus oli kuluneinta metsiköissä, joiden ympärillä asukasmäärä oli suurin. Kun asukasmäärä kilometrin säteellä metsiköstä kasvoi 15000 asukkaalla, aluskasvillisuuden suhteellinen peittävyys väheni noin 30 %. Erityisesti mustikan peittävyys väheni kulutuksen lisääntyessä. Sammalten peittävyys kaupunkimetsissä oli vain alle puolet sammalten peittävydestä tallaamattomilla vertailualueilla. Sitä vastoin puiden taimien, erityisesti pihlajan, sekä joidenkin kestävien ruohovartisten kasvien peittävydet olivat kaupunkimetsissä suuremmat kuin vertailualueilla. Pienissä metsäpirstaleissa lehtipuut, heinät ja ruohot olivat runsaita ja sammat vähäisiä. Lisääntyvä virkistyskäyttö ja pirstoutuminen muuttavat siis kaupunkimetsien kasvillisuutta lehtipuut, ruoho- ja heinävaltaisemmaksi sammalten ja varpujen kustannuksella.

Tutkimuksessa havaittiin, että tallauksen aiheuttama kulutus muuttaa mikrobiyhteisön rakennetta paitsi poluilla myös polkujen ympäristössä. Vaikutus ulottui yli metrin päähän poluista. Mikrobibiomassa oli 25–30 % suurempi poluilla kuin tallaamattomilla alueilla. Kuitenkin mikrobiaktiivisuus biomassayksikköä kohti oli alhaisempi poluilla kuin yli metrin etäisyydellä poluista. Metsien pirstoutumisen aiheuttama reunavaikutuksen kasvu vaikuttaa mikrobiyhteisöön osin saman suuntaisesti. Metsien reuna-alueet ovat paahteisempia, tuulisempia ja kuivempia kuin metsien sisäosat. Nämä reunavaikutukset aiheuttavat suoria muutoksia sekä kasvillisuudessa että maaperän mikrobistossa. Sekä mikrobibiomassa että -aktiivisuus olivat 30–45 % alhaisempia metsien reunoissa kuin metsien sisäosissa, sillä noin kahdenkymmenen metrin levyisellä reunavyöhykkeellä maaperä oli liian kuivaa kosteutta vaativille mikrobeille. Alentunut mikrobiaktiivisuus poluilla ja metsien reunoissa voi hidastaa karikkeen hajoamista ja aiheuttaa muutoksia maaperän ravinnekierrossa. Tällöin kasvien ravinteiden saanti voi heikentyä.

Kaupunkimetsien alkuperäisen kasvillisuuden säilymisen ja maaperän mikrobiston normaalin toiminnan kannalta on tärkeää säilyttää riittävän suuria yhtenäisiä metsäalueita kaupungeissa. Koon lisäksi metsän muoto on tärkeä, sillä alle 40 metriä leveät metsäsuikaleet ovat kokonaan muuttunutta reunavyöhykettä. Sen sijaan esimerkiksi pyöreän, kolmen hehtaarin kokoisen metsikön pinta-alasta vähintään neljännes on reunavaikutuksen tavoittamattomissa olevaa metsän sisäosaa. Virkistyskäyttöön tarkoitettujen kaupunkimetsien suunnittelussa tulisi ottaa huomioon metsien riittävä koko sekä niiden määrä suhteessa asukaslukuun. Kulun ohjaaminen hyvin suunnitellun polkuverkoston avulla on välttämätöntä kasvillisuudeltaan herkkien alueiden suojelemiseksi.

■ FT Minna Malmivaara-Lämsä, Metla, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti minna.malmivaara@metla.fi

Tiina Rajala

Kuusyksilöiden vaikutus metsämaan mikrobeihin

Seloste väitöskirjasta: Rajala, T. 2008. Responses of soil microbial communities to clonal variation of Norway spruce. *Disertationes Forestales* 58. 50 s.

Maaperän mikro-organismit ovat avainasemassa boreaalisten metsiemme kasvun ja hyvinvoinnin kannalta, sillä ne edistävät puiden ravinteiden ja veden saantia ja hajottavat kuollutta orgaanista ainesta vastaten siten ravinteiden vapautumisesta. Vaikka maaperän mikrobiyhteisö on hyvin monimuotoinen, on mikrobien kanssa vuorovaikutussuhteessa elävien puulajien lukumäärä pohjoisen boreaalisisissa metsissä pieni. Syitä maaperän mikrobiyhteisön monimuotoisuuteen ja laikuittaisuuteen jopa yhden puulajin metsiköissä ei ole täysin osattu selittää. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vaikuttavatko saman puulajin eri yksilöt maaperän mikrobiyhteisöön sekä, onko puiden kasvu yhteydessä mikrobiyhteisön rakenteeseen ja aktiivisuuteen.

Tutkimus tehtiin 1994 perustetulla kuusikloonikokeella, joka sijaitsee Pieksänmaalla Keski-Suomessa. Kuusikloonipistokkaat oli istutettu 1991 avohakatuille alueelle satunnaisesti kolmeen lohkoon. Nyt tutkittujen kahdeksan eri kuusikloonin pituuserot ovat keskimäärin kaksinkertaisia. Tutkimuksessa havaittiin, että nopeakasvuisilla kuusiklooneilla oli suhteellisesti enemmän symbionttisia mykorritsasienilajeja kuin hidaskasvuisilla klooneilla. Myös mykorritsalajisto erosi nopea- ja hidaskasvuisilla kuusiklooneilla. Lisäksi kasvunopeudeltaan poikkeavat kuusikloonit erosivat maan mykorritsasienirihmaston määrän ja siihen liittyvän bakteeriston, sekä humuksen mikrobiyhteisön rakenteen suhteen. Mikrobibiomassassa ja mikrobiaktiivisuuksissa ei havaittu merkitseviä eroja kuusikloonien välillä, kuten ei myöskään neulaskariketta hajottavan sieniyhteisön rakenteessa ja hajotusnopeudessa. Laboratorikokeessa tutkittiin endofyyttisienten neulaskarikkeen hajotusta. Hidaskasvuisten kuusikloonien neulasissa eli runsaammin endofyyttisieniä kahden vuoden kasvatuksen päätteeksi. Tulokset myös osoittivat, että endofyyttisienet pystyvät tehokkaasti hajottamaan neulaskariketta ja että ne ovat mahdollisesti luonnossakin tärkeitä hajottajia.

Tämä tutkimus osoitti yhteyden kuusikloonien kasvun ja maaperämikrobiston rakenteen välillä. Koska eri kuusikloonit vaikuttivat eri tavalla maaperän mikrobiyhteisön rakenteeseen, saattaa puulajin sisäinen vaihtelu osittain selittää mikrobien laikuittaisuutta ja lajirunsautta metsämaassa. Lisätutkimuksia kuitenkin tarvittaisiin, jotta voitaisiin arvioida syy-seuraussuhteita kuusien kasvun ja mykorritsamonimuotoisuuden välillä.

■ Tiina Rajala, Metla, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti tiina.rajala@metla.fi

Mart-Jan Schelhaas

Tuhojen vaikutus Euroopan metsävarojen kehitykseen: mallitarkasteluja puu- ja metsikkötasolta alueellisiin skenaarioihin

Seloste väitöskirjasta: Schelhaas, M.-J. 2008. Impacts of natural disturbances on the development of European forest resources: application of model approaches from tree and stand levels to large-scale scenarios. *Dissertationes Forestales* 56. 28 s.

Luonnontuhot vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka metsät tuottavat puuta ja muita palveluja. Tuhoja ja niiden vaikutusta metsävaroihin ei kuitenkaan ole aiemmin analysoitu koko Euroopan mittakaavassa. Tuhot jätetään myös monesti ottamatta huomioon, kun ennustetaan metsävarojen tulevaa kehitystä. Väitöskirjan tavoitteena on paikata näitä puutteita. Väitöskirjan osatutkimuksessa tehdyn kirjallisuusanalyysin mukaan vuosina 1950–2000 tuhot hävittivät Euroopan puustoa keskimäärin 35 miljoonaa m³ vuodessa. Myrskyjen ja tuulituhojen osuus oli 53 %, metsäpalojen 18 %, kaarnakuoriaisten 8 % ja muiden biottisten tuhonaiveuttajien osuus 8 %.

Väitöskirjatyössä täydennettiin suuralueiden metsävarojen kehityksen ennustuksessa käytettävää skenaariomallia erityisellä tuhomoduulilla. Täydennetyllä mallilla tehtiin laskelmia Sveitsin ja Itävallan metsävarojen kehityksestä. Sveitsissä tuhojen sisällyttäminen laskelmiin vaikutti merkittävästi puuston kehityssennusteisiin sekä silloin, kun ilmaston oletettiin pysyvän ennallaan, että silloin kun ilmaston oletettiin lämpenevän. Itävallassa odotettavissa oleva ilmaston muutos kaksinkertaistaa kaarnakuoriaisten aiheuttamat tuhot vuosisadan loppuun mennessä). Puulajin vaihdolla kestävämpään lajiin avohakkuun jälkeen on vain pieni lieventävä vaikutus, sillä vanhat metsät ovat herkimpiä tuhoille.

Väitöskirjassa kehitettiin myös tuulituhomoduuli, joka liitettiin metsikkösimulaattoriin, jossa simulointi perustuu yksittäisiin puihin. Malli ottaa huomioon naapuripuiden tarjoaman tuen ja suojan, mikä mahdollistaa tuhoriskin ennustuksen metsikön sekä yksittäisille puille että koko metsikölle.

Täydennetyllä simulaattorilla analysoitiin metsänhoitomenetelmien vaikutusta tuulituhoihin. Kestävimpä ovat käsittelymenetelmät, joissa puusto on tyvekästä, ts. pituuden ja läpimitan suhde on pieni. Kestävään rakenteeseen päästään mm. kasvattamalla puustoa nuoresta iästä saakka harvahkona tai poistamalla eri-ikäismetsän harvennuksissa eniten solakoita puuta.

Väitöskirjassa pääteltiin, että tuhojen liittäminen eri maantieteellisiä mittakaavoja varten kehitettyihin ennustemalleihin parantaa merkittävästi mahdollisuuksia analysoida erilaisia skenaarioita ja niihin liittyviä riskejä. Mallit ja niillä tehtävät analyysit auttavat myös sopeutumaan tulevaan ilmaston muutokseen.

■ Mart-Jan Schelhaas, Alterra, Wageningen, Alankomaat. Sähköposti martjan.schelhaas@wur.nl

Sirpa Thessler

Alankosademetsien kasvilajiston vaihtelun kartoittaminen satelliittikuvilta

Seloste väitöskirjasta: Thessler, S. 2008. Remote sensing of floristic patterns in the lowland rain forest landscape. *Dissertationes Forestales* 59. 41 s.

Trooppisten metsäalueiden maankäytön ja sademetsien suojelun suunnittelu tarvitsee kiireesti arvioita kasvilajiston alueellisesta vaihtelusta. Laajojen, vaikeapääsyisten ja lajirikkaiden sademetsäalueiden kasvilajiston inventointi täytyy käytännön syistä rajata koealoihin ja koskemaan vain osaa kasvilajistosta, indikaattorilajeja. Yhdistämällä lajiston inventointiaineisto ja spatiaalisesti jatkuva ympäristötieto voidaan kasvilajiston vaihtelua mallintaa ja ennustaa koealojen välisille, tutkimattomille alueille. Moniulotteinen lajiaineisto täytyy kuitenkin ensin tiivistää pienempään määrään muuttujia, lajistovaihtelun indikaattoreihin.

Työssä selvitettiin voidaanko kaukokartoituksen keinoin tarkastella ja kartoittaa luonnontilaisten

alankosademetsien kasvilajiston alueellista vaihtelua. Lajistovaihtelun indikaattoreina käytettiin 1) ekologisten luokiteltujen lajien lukumäärää, 2) kasvillisuus-/metsäluokkia ja 3) lajistokokoonpanoa, joka tiivistettiin NMDS ordinaation avulla kolmeen ulottuvuuteen (ordinaatioakseliin). Indikaattorilajeina käytettiin aluskasvillisuuden *Melastomataceae*- ja sanikkaislajeja sekä latvuserroksen puu- ja palmulajeja. Lajistovaihtelun indikaattoreita ennustettiin tutkimattomille alueille käyttäen k lähimmän naapurin menetelmää ja lineaarista erotteluanalyysiä. Ympäristövaihtelun kuvaajina käytettiin Landsat TM ja ETM+ -satelliittikuvia ja SRTM digitaalista korkeusmallia. Tutkimusalueet sijaitsivat itäisessä Ecuadorissa, koillis-Perussa ja pohjois-Costa Ricassa.

Työ osoitti että alankosademetsien kasvilajiston alueellista vaihtelua, jonka indikaattoreina käytettiin kasvillisuusluokkia, ordinaatioakseleiden arvoja tai ekologisten kategorioiden lajimäärää, voidaan arvioida ja kartoittaa yhdistämällä kaukokartoitus ja maastohavainnointi. Ennusteiden tarkkuuteen vaikuttivat etenkin kuvapiirteiden valinta ja painotus ja tarkastelun spatiaalinen resoluutio. K lähimmän naapurin menetelmä osoittautui lupaavaksi menetelmäksi lajistovaihtelun ennustamisessa, kun kyseessä oli jatkuva muuttuja kuten ordinaatioakseleiden arvot tai lajimäärä. K lähimmän naapurin menetelmä myös tuotti tarkempia ennusteita kasvillisuustyyppien luokittelussa kuin lineaarinen erotteluanalyysi.

■ Sirpa Thessler, MTT, palveluyksikkö
Sähköposti sirpa.thessler@mtt.fi

Henri Vanhanen

Tulokaslajit Euroopassa – maailmankaupan ja ilmaston- muutoksen vaikutus lajien levinneisyyteen

Seloste väitöskirjasta: Vanhanen, H.M. 2008. Invasive insects in Europe – the role of climate change and global trade. *Dissertationes Forestales* 57. 33 s.

Metsähyönteisten leviäminen niiden luontaisen levinneisyysalueen ulkopuolelle ihmisen avustamana tietoisesti tai tahattomasti on kasvanut suuresti kasvaneen ja nopeutuneen kaupankäynnin, matkailun ja tavaroiden kuljetusten, yleisesti globalisoitumisen myötä. Maantieteelliset luontaiset leviämissesteet, kuten vesistöt ja vuoristot eivät enää ole absoluuttisia esteitä lajien leviämiselle ihmisten toimiessa lajien vektoreina. Nämä niin kutsutut tulokaslajit muodostavat suuren riskin sekä biodiversiteetille että metsätaloudelle, aiheuttaen häiriötä tai suoraa tuhoa sekä viljely- että luonnonmetsissä. Euroopassa on tätä nykyä yhteensä 109 pohjoisamerikkalaista ja aasialaista vierasperäistä puuvartisilla metsäkasveilla elävää kasvinsyöjähyönteistä. Kasvavan kaupankäynnin myötä voidaan olettaa myös uusien tulokashyönteisten ja patogeenien leviämisen riskin lisääntyvän.

Potentiaalisista vierasperäisistä metsätuholaisista tehdyt riskianalyysit ovat tehokas tapa estää tai vähentää mahdollisten tulokkaiden määrää. Monesti tulokaslajit eivät runsastu tai ole haitallisia uusilla elinalueillaan, mutta historia tuntee useita tapauksia joissa tulokaslaji on aiheuttanut suuria tuhoja levitessään uudelle alueelle. Tulokaslajien ennalta arvaamattomien vaikutusten vuoksi on tärkeää tunnistaa potentiaaliset tulokaslajit ja niiden todennäköisimmät leviämisreitit. Monet tulokaslajin ominaisuudet sekä tulokaslajista riippumattomat tekijät vaikuttavat sen kykyyn asuttaa uusi alue tai manner. Todennäköisimmät lajin leviämiseen vaikuttavat tekijät ovat uuden alueen tarjoamat resurssit, lajin kyky kilpailla näistä resursseista uuden alueen muiden lajien kesken sekä tulokaslajille suotuisa ilmasto. Myös tarjolla olevat isäntälajit vaikuttavat lajin ky-

kyyn asuttaa uusi alue tai manner, mutta lajin ominaisuuksilla ja elinkiertyypillä on osansa tulokaslajin menestymisessä. Kyky käyttää hyväkseen useampia isäntälajeja, suvuton lisääntyminen ja populaation geneettisten pullonkaulojen sietäminen ovat todennäköisimpiä ominaisuuksia jotka auttavat leviämässä uusille alueille. Myös tulokaslajin yksilöiden määrä, ns. yksikköpaine voi olla tärkeä tekijä elinvoimaisen populaation perustamisessa.

Leviämiskisä on suurin alueilla, joissa potentiaalisen vierasperäisen metsätuholaisten isäntäkasvia esiintyy runsaasti luonnostaan tai viljeltynä. Tieto isäntälajien levinneisyydestä ja mallinnukset ilmastollisesti tai luonnonmaantieteellisesti sopivista alueista ovat tärkeitä suuren riskiarvon omaavien metsätuholaisten leviämistodennäköisyyttä arvioitaessa. Niiden perusteella voidaan suunnata sekä ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä että tulokaslajin poistotoimenpiteitä jos se kykenee asuttamaan uuden alueen. Ilmastomallinnukset ovat myös hyödyllisiä työkaluja arvioitaessa ilmastonmuutoksen aiheuttamia koto- tai vierasperäisten metsätuholaisten levinneisyysalueiden tulevaisuuden muutoksia. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset levinneisyysalueissa, populaatioiden koon vaihteluissa sekä massaesiintymien tiheyksissä tulevat aiheuttamaan uhan metsätaloudelle, mikä on syytä ottaa huomioon tehtäessä tulevaisuuden metsänhoitosuunnitelmia.

■ Henri Vanhanen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti henri.vanhanen@joensuu.fi