

Teijo Palander, Mari Toivonen ja Sanna Laukkanen

Puunhankintaorganisaatiolle soveltuvat ryhmätyövälineet ja ryhmän päätöstukijärjestelmät

Seloste artikkelista: Palander, T., Toivonen, M. & Laukkanen, S. 2002. GroupWare and group decision support systems for wood procurement organisation. *Silva Fennica* 36(2): 585–600.

Mononlaisia päätöstukijärjestelmiä (Decision Support Systems, DSSs) on ehdotettu puunhankintaorganisaatioiden käyttöön, mutta vain harvoin ne ovat olleet käyttökelpoisia tiimityöntekijöiden ryhmäpäättökentekotilanteissa. Samalla päätöstukijärjestelmien taustalla oleva tutkimusteoria on jäänyt kapea-alaiseksi. Tähän tilanteeseen on päädytty, koska elektroninen informaatio- ja yhteydenpitoteknologia (Information Communication Technology, ICT) on kehittynyt tiedossa ja käsissä olevaa teoriaa nopeammin. Teorian kokoamiselle on siis tarvetta etenkin, kun organisaatioiden ylin johto on ennustanut, että yhteydenpitoteknologialla pian korvataan muun muassa palaverit. Jotta näin laajamittainen hyödyntäminen on mahdollista, tulee kehittäjien huomata, että ryhmäpäättökenteko ja tiimityö tarvitsevat onnistuakseen enemmän kommunikaatiota kuin perinteiset päättökentekotavat. Useissa tutkimuksissa on saatu myös tuloksia, joiden perusteella erityisiä ryhmän päätöstukijärjestelmiä (Group Decision Support Systems, GDSSs) suositellaan tiimityötä soveltaville puunhankintaorganisaatioille.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli koota ja samalla esitellä käytettävissä oleva ryhmäpäättökentekojärjestelmien teoria aiheeseen liittyvän kirjallisuuden avulla. Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli tehdä synteesi tietokoneella toimivien ryhmä-

työvälineiden nykyisestä tilasta. Artikkelissa kuvattiin myös puunhankintasuunnitelmaa edeltäviä ryhmäpäättökentekojen vaiheita ja jokaisen vaiheen ehkä keskeisin toiminnallinen tavoite. Synteesin perusteella pohdittiin ryhmäpäättökentekojärjestelmien ja spontaanin päätösneuvottelun soveltamismahdollisuuksia modernissa organisaatiossa. Lisäksi artikkelissa tehtiin tulevaisuutta silmälläpitäen joitakin tutkimusehdotuksia, jotka liittyivät ryhmäpäättökentekoon ja sitä läheisesti ohjaavien erilaisten johtamislähestymistapojen tarpeellisuuteen.

Ryhmäpäättökentekojärjestelmät kehitettiin tukemaan pienryhmien yhteydenpitoa ja yhteistyötä. Käsitteellisesti ne on luokiteltavissa ryhmätyövälineiden (GroupWare) alaryhmäksi, koska GDSS-järjestelmissä tarvitaan vaihtelevasti erilaisia sähköisiä ryhmätyövälineitä. GDSS-järjestelmien heikkoutena oli niiden melko rajoittuneet päätösongelmien ratkaisumahdollisuudet. Toisin sanoen ne oli suunniteltu usein yhden samanlaisen päätöksen tekemiseen. Äskettäin on kuitenkin kehitetty GDSS-järjestelmien laajennuksia myös vaihteleviin päätökentekotilanteisiin ja usein tapahtuvaa päätökentekoa varten. Näitä järjestelmiä kutsuttiin yhteisesti spontaaneiksi päätösneuvotteluiksi (Spontaneous Decision Conferencing, SDC). Kuten ryhmäpäättökentekojärjestelmää, niin myös spontaania päätösneuvottelua voitiin käyttää tilanteissa, joissa pyrittiin hallitsemaan koko päätösprosessi. Sen lisäksi SDC-järjestelmät mahdollistivat useita neuvottelukierroksia. Päätösprosessin asemesta voidaankin käyttää käsitettä päätökentekoproessi. Koko prosessi kesti korkeintaan muutaman tunteja.

Päätökentekoproessin aikana oli mahdollista tukea prosessin eri vaiheita niihin sopivilla ryhmätyövälineillä päätökentekoryhmän työskentelytarpeiden mukaan. Prosessissa GDSS-järjestelmiä käytettiin usein ryhmäajattelun hallintaan. Tavallisesti oli kysymys ryhmäajattelun negatiivisten piirteiden välttämisestä, kuten mielipidejohtajien liiallisesta vaikutuksesta prosessin aikana. GDSS-järjes-

telmän avulla saatiin aikaan päätöksiä, joihin päätöksentekijät olivat tyytyväisiä, kun tyytyväisyyttä ”mitattiin” yksilön vaikuttamismahdollisuuksilla. Ilman järjestelmää tuloksena saattoi pahimmissa tapauksissa olla vain näennäinen konsensus. Parhaimmissa tapauksissa järjestelmät vahvistivat organisaation sosiaalisia rakenteita.

Jos ryhmän päätöksentekoprosessissa käytettiin elektronisia neuvottelujärjestelmiä (Electronic Meeting Systems, EMSs), niillä usein tuettiin ryhmädynamiikan positiivista kehittymistä. Kysymykseen tuli muun muassa tehokkuus, toimivuus ja yhtenäisyys. Tämä onnistui järjestelmän sisään rakennettujen apuvälineiden avulla, jotka mahdollistivat esimerkiksi osallistujien tunnistamattomuuden ja heuristiset päätösvaihtoehtojen valinnat. Edellä mainittujen lisäksi prosessiin liitettiin joskus myös optimointijärjestelmiä ja niiden käytön tueksi tietokoneavusteista visualisointia (Computer Aided Visualisation, CAV) samoin kuin muita numeerisia lähestymistapoja. Nämä kaikki yhdessä tuntuivat lupaavimmalta elektronisen neuvottelujärjestelmän kokoonpanolta. Näitä ryhmätyövälineitä käytettäessä pystyttiin päätöksiä tekemään sijainniltaan kaukana toisistaan olevissa ryhmissä ja päätöksentekoprosessissa oli mukana hallitussa määrin vaikutteita päätöksentekijöiden inhimillisestä käyttäytymisestä.

Kirjallisuuskatsausta ja sen avulla laadittua synteesiä voidaan sellaisenaan hyödyntää puunhankinnan suunnittelua ja päätöksentekoa koskevissa kehittämissuunnitelmissa. Synteesi on kuitenkin erityisesti tarkoitettu puunhankintaorganisaatioiden toimijoita ja muita aiheen parissa kehitystyötä tekeviä varten. Etenkin toimijat hyötyvät käytössä olevan käsitteistön yhdenmukaistamisesta, jonka seurauksena puunhankinnan päätöksentekoprosessien testaus ja kehittäminen tulee helpommaksi. Todennäköisesti heitä koskevat ongelmat, kuten päätöksenteossa tarvittavien ryhmätyövälineiden ja mallien etäisyys arkisesta päätöksenteosta samoin kuin vaikutusmahdollisuuksien puute prosessin aikana, pystytään ratkaisemaan. Katsauksen perusteella näyttäisi siltä, että päätöstukijärjestelmät (Decision Support Systems, DSSs) kuten myös johdon informaatiojärjestelmät (Management Information Systems, MISs) ovat riittämättömiä puunhankinnassa. Niiden sijaan tulisi käyttää sähköisiä ryhmätyövälineitä hyödyntävää spontaania päätösneuvotte-

lua, jotta ryhmän yhteistyö olisi hallittavissa neuvottelujen aikana.

■ MMT Teijo Palander, MMM Mari Toivonen, MMM Sanna Laukkanen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti teijo.palander@joensuu.fi

Annika Kangas ja Matti Maltamo

Puuston ja puutavaralajien tilavuuksien ennustevirheiden ennakointi eri mittausyhdistelmillä ja erityyppisissä metsiköissä

Seloste artikkelista: Kangas, A. & Maltamo, M. 2002. Anticipating the variance of predicted stand volume and timber assortments with respect to stand characteristics and field measurements. *Silva Fennica* 36(4): 799–811.

Nykyisin kuvioittaisessa arvioinnissa mitataan/arvioidaan kaikilta kuvioilta taimikoita lukuunottamatta samat tunnuksat. On kuitenkin olemassa laskentamenetelmiä, jotka mahdollistavat sen, että eri kuvioilta voidaan arvioida eri tunnuksat. Tällöin kannattaisi kussakin metsikössä mitata ne tunnuksat, joiden avulla luotettavimmin saadaan ennustettua halutut puustotunnukset. Jotta optimointi olisi mahdollista, tarvitaan ennustevirheestä arvio eri mittausyhdistelmillä kullekin kuviolle jo etukäteen, ennen kuin varsinaiset mittaukset tehdään. Nykyisin käytetyt virhearviot ovat keskimääräisiä virheitä suurilla alueilla eivätkä sovi mittauksen optimointiin. Siksi myös ennustevirheille tarvitaan malli, joka kuvaa virhettä erityyppisissä metsiköissä ja eri mittausyhdistelmillä.

Tässä tutkimuksessa puuston kokonaistilavuuden ja puutavaralajien tilavuuksien ennustevirheille (jotka edelleen koostuvat läpimittajakauman ja pituuden ennustamisvirheistä) yhdeksällä eri mittausyhdistelmällä laadittiin regressiomallit. Mallien ensimmäiset versiot laadittiin tavallisella PNS-estimoinnilla. Tämän jälkeen havaittujen residuaalien perusteella laadittiin varianssifunktio, koska mallien varianssi

ei ollut vakio, vaan kasvoi selvästi puuston pohjapinta-alan funktiona. Lopulliset mallit laadittiin painotettuna SUR-mallina (näennäisesti riippumaton regressio eli Seemingly Unrelated Regression), jossa painoina käytettiin estimoituja varianssifunktioita. SUR-menetelmää käytettiin, koska eri tunnusten ennustevirheet ovat vahvasti korreloituneita.

Nykyisin käytettävä mitattavien tunnusten yhdistelmä, pohjapinta-ala ja pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta (ns. perusyhdistelmä), johti usein selkeästi harhaisiin puutavaralajien osuuksiin. Tukkitilavuuden osalta harha kasvoi keskiläpimitan funktiona, kuitupuun tilavuuden osalta harha oli suurimmillaan keskiläpimitaltaan keskimääräisissä metsiköissä. Monilla lisätunnuksilla, kuten runkoluku, tukkipuuston pohjapinta-ala tai runkolukumediaaniläpimitta, tätä harhaa saatiin merkittävästi pienennettyä. Tukkitilavuuden osalta kuitenkin ennustettu virheen hajonta lisääntyi lisäinformaatiota käytettäessä. Perusyhdistelmä oli siksi keskivirheen kannalta aina paras. Sen sijaan puuston kokonaistilavuuden ja erityisesti kuitupuun tilavuuden keskivirhettä saatiin lisäinformaatiolla pienennettyä, etenkin pohjapinta-alaltaan suurissa puustoissa. Yksittäisen metsikön tapauksessa pienin virheen hajonnan odotusarvo voi ratkaista tilanteen perusyhdistelmän eduksi. Suuremmilla alueilla harhan väheneminen kasvattaa lisäinformaation mittaamisen edullisuutta, koska harha ei hajonnan tapaan vähene metsiköiden määrän lisääntyessä.

Estimoituja malleja voidaan käyttää kuviokohtaisesti optimaalisen mittausyhdistelmän valintaan. Tutkimuksen ongelmana on, että kaikki tunnuksot oli oletettu virheettömästi mitatuiksi. Näinhän ei käytännössä ole, vaan tunnuksissa on enemmän tai vähemmän mittausrvirhettä. Tällöin kuviokohtaisen optimaalisen mittausyhdistelmän valinnassa tulisi ottaa huomioon myös eri tunnusten arvioinnin luotettavuus ja myös niiden arvioinnin kalleus. Myöskään puuston tulevan kehityksen ennusteita, jotka olisivat optimoinnin kannalta yhtä tärkeitä kuin nykyhetken tiedotkin, ei otettu huomioon. Tämä tutkimus voidaankin nähdä ensimmäisenä askeleena kohti mittausten optimointia, mutta käytännön sovelluksia varten aiheesta tarvitaan lisätutkimuksia.

■ Prof. Annika Kangas, Helsingin yliopisto, metsävarojen käy-

tön laitos; prof. Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta
Sähköposti annika.kangas@helsinki.fi

Ilkka Leinonen ja Heikki Hänninen

Kuusen silmunpukkeamisen sopeutuminen lauhkeaan ja boreaaliseen ilmastoon

Seloste artikkelista: Leinonen, I. & Hänninen, H. 2002. Adaptation of the timing of bud burst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica* 36(3): 695–701.

Tutkimuksessa tarkasteltiin metsapuiden silmunpukkeamisen ajoittumisen geneettistä sopeutumista erilaisiin ilmasto-oloihin tietokonesimulointien avulla. Simuloinneissa käytettiin sääaineistoa kolmelta paikkakunnalta (Muonio, Tampere ja Voronez) ja ennustettiin eri genotyyppien pakkasvaurioriski keväällä silmunpukkeamisen jälkeen sekä käytettävissä olevan kasvukauden pituus. Simulointituloksien perusteella tarkasteltiin kahta erilaista teoriaa, jotka selittävät silmunpukkeamisen ajoittumisen ja vallitsevien ilmasto-olojen välistä suhdetta. Ensimmäisen teorian mukaan parhaiten ilmastoon sopeutuneet genotyypit maksimoivat kasvukauden pituuden siten, että silmunpukkeaminen tapahtuu mahdollisimman aikaisin keväällä, mutta kriittinen pakkasvaurioriski ei kuitenkaan ylity. Toinen teoria olettaa, että silmunpukkeamisen ajoittuminen määräytyy pakkasvaurioriskin ja kasvukauden pituuden yhteisvaikutuksesta, toisin sanoen pitempi kasvukausi osittain kompensoi suurempaa pakkasvaurioriskiä. Simulointien mukaan nämä kaksi teoriaa tuottavat toisistaan poikkeavia tuloksia eri genotyyppien sopeutumisesta erilaisiin ilmastoihin.

Simulointien tuloksia verrattiin empiirisiin kokeisiin, joissa on tutkittu eri kuusialkuperien silmunpukkeamisen ajoittumista. Yleisesti on havaittu, että eteläisillä kuusialkuperilla silmunpukkeamisen lämpösummavaatimus on suurempi kuin pohjoisilla. Teoria, jonka mukaan ilmastoon sopeutuminen määräytyy kriittisen pakkasvaurioriskin ja kasvukauden

pitouden maksimoitumisen perusteella, ei pystynyt selittämään tätä suuntausta. Tämän teorian mukaan pohjoiseen ilmastoon sopeutuneiden genotyyppien silmunpukkeamisen täytyisi vaatia suurempi lämpösuummakertymä verrattuna eteläisempiin ja manta-reisempiin alkuperiin, jotta kriittinen pakkasvaurioriski ei ylittyisi. Sen sijaan, jos silmun pukkeamisen ajoittumisen geneettinen sopeutuminen on seurausta pakkasvaurioriskin ja kasvukauden pituuden yhteisvaikutuksesta, silmunpukkeamiseen vaadittava lämpösuumma on pienempi pohjoisilla alkuperilla. Tämä on seurausta siitä, että pohjoisessa ilmastossa kevään lämpötilat vaihtelevat suuresti, eikä myöhäinen silmunpukkeaminen pysty merkittävästi pienentämään pakkasvaurioriskia, joten kasvukauden pituuden merkitys korostuu.

Tässä tutkimuksessa kehitetty käsitteellinen malli tarjoaa mahdollisuuden tarkastella ilmaston vaikutusta eri puulajien geneettiseen sopeutumiseen. Pakkasvaurioriskin minimoimisen ja kasvukauden pituuden maksimoimisen välinen suhde todennäköisesti vaihtelee eri lajeilla sen mukaan, miten hyvin kukin laji sietää silmunpukkeamista seuraavia pakkasia tai pystyy toipumaan niiden aiheuttamista vaurioista.

■ MMT Ilkka Leinonen, University of Oklahoma, Department of Botany and Microbiology; prof. Heikki Hänninen, Helsingin yliopisto, ekologian ja systematiikan laitos. Sähköposti leinonen@ou.edu

Anna Liisa Ruotsalainen, Juha Tuomi ja Henry Väre

Optimaalinen mykorrhizakolonisaatio alpiinisella gradientilla

Seloste artikkelista: Ruotsalainen, A.L., Tuomi, J. & Väre, H. 2002. A model for optimal mycorrhizal colonization along altitudinal gradients. *Silva Fennica* 36(3): 681–694.

Suurin osa maapallon kasvilajeista elää symbioosissa juurisienten kanssa eli muodostaa mykor-

ritsaa. Symbioosissa sieni luovuttaa kasville maaperän ravinteita ja vettä, ja saa vastavuoroisesti kasvilta yhteyttämistuotteita. Mykorrhitsan tulisi olla isäntäkasvilleen erityisen hyödyllinen niukkaravinteisissa olosuhteissa. Arktiset ja alpiiniset alueet ovat maaperältään hyvin niukkaravinteisiä, mutta silti ei-mykorrhitsallisten kasvien on havaittu olevan erityisen yleisiä näissä ympäristöissä. Syynä tähän saattaisi olla mykorrhitsan isäntäkasvilleen aiheuttama ylimääräinen hiilikustannus, mikä voisi aiheuttaa sen, että näillä kylmillä alueilla mykorrhitsaa ei mahdollisesti kannattaisi ylläpitää. Tässä työssä analysoimme malliteoreettisesti maaperän ravinnepitoisuuden, fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuuden ja ravinteidenottokinetiikan vaikutusta kasvin kannalta optimaaliseen sienijuurikolonisaatioon. Maaperän ravinnepitoisuuden ja fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuuden voidaan olettaa vaihtelevan alpiinisella gradientilla.

Malli perustui seuraaviin oletuksiin: Sienijuurelliset juuret ovat tehokkaampia ravinteidenottajia kuin sienijuurettomat, mutta ne ovat myös hiilitaloudellisesti kalliimpia ylläpitää. Fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus määrittää sen, kuinka paljon yhdestä ravinneyksiköstä saadaan fotosyntetistä hyötyä, ts. montako hiiliyksikköä tämä ravinneyksikkö tuottaa. Kun tämä tehokkuus on riittävän suuri suhteessa mykorrhitsallisten ja mykorrhitsattomien juurten hiilikustannuksiin, niin kasvin kannattaa olla mykorrhitsallinen. Yksinkertaisuuden vuoksi oletettiin kasvin juurten olevan joko täysin kolonisoituneita tai ei ollenkaan. Mykorrhitsallisen ja ei-mykorrhitsallisen juuren ravinteidenoton kinetiikkaa mallissa tutkittiin Michaelis-Menten-yhtälöllä siten, että mykorrhitsallisen juuren oletettiin olevan paremman joko 1) absorboimaan alemmasta konsentraatiosta, 2) kykenevän suurempaan ravinteidenottoon tai 3) olevan tehokkaampi ravinteidenottaja alhaisessa konsentraatiossa. Malli parametrisoitiin erään arbuskelimykorritsalla tehdyn hiili- ja ravinnetalouskokeen perusteella.

Alpiinisen gradientin suhteen oletimme, että fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus voisi laskea tai pysyä vakiona ja samaten maan ravinnepitoisuus voisi laskea tai pysyä vakiona. Jos maan ravinnekon-sentraatiossa ei tapahdu muutosta korkeusgradientilla ja fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus laskee, mykorrhitsa ei ole edullinen gradientin ylä-

osassa (= korkealla) riippumatta kinetiikasta. Jos taas fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus on vakio ja maan ravinnepitoisuus laskee, korkeusgradientilla havaittava muutos riippuu kinetiikasta ja myös ravinnegradientin pituudesta. Muutos mykorrhizallisesta ei-mykorrhizalliseen ja päinvastoin on mahdollinen, samoin kuin sellainen, jossa mykorrhiza on edullinen keskimääräisillä ravinteiden saatavuuksilla. Mikäli sekä fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus että maan ravinnepitoisuus laskevat, useita erilaisia muutoksia voidaan havaita. Yhteistä näille kaikille kuitenkin on, että mykorrhiza ei ole koskaan edullinen, jos fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus on alhainen.

Vertailimme tuloksia alpiiniselta gradientilta olemassaolevaan kirjallisuuteen. Kirjallisuus tukee ainakin kasviyhteisötasolla mykorrhizallisesta ei-mykorrhizalliseen tapahtuvaa muutosta. Mallimme osoittaa, että kasvin alhainen fotosynteesin ravinteidenkäyttötehokkuus voi tehdä mykorrhizasta epäedullisen. Kirjallisuuden mukaan kasvien ravinnepitoisuudet nousevat korkeusgradientilla, mikä voi tarkoittaa ravinteidenkäyttötehokkuuden heikkenemistä. Malli osoittaa myös, että jos ravinteidenottokinetiikassa on eroja esimerkiksi eri mykorrhizatyypien välillä (esim. ektomykorrhiza, varpukasvien erikoidimykorrhiza ja ruohovartisten arbuskelimykorrhiza), nämä voivat ”reagoida” eri tavoin suhteessa alpiiniseen gradienttiin. Esimerkiksi kyky käyttää maaperän orgaanisia ravinteita on mykorrhizatyypeillä erilainen. On kuitenkin huomattava, että alpiinisella gradientilla vaikuttavat monet eri tekijät, ja esimerkiksi kasvillisuuden tiheydellä ja rakenteella sekä maaperän fysikaalisilla häiriöillä voi olla oma merkityksensä nyt mallinnettujen muuttujien lisäksi.

■ FL Anna Liisa Ruotsalainen, prof. Juha Tuomi, Oulun yliopisto, biologian laitos; dos. Henry Väre, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo. Sähköposti annu.ruotsalainen@oulu.fi

Tuomo Wallenius, Timo Kuuluvainen, Raimo Heikkilä ja Tapio Lindholm

Puuston spatiaalinen ikärakenne ja palohistoria kahdessa vanhassa metsässä Itä-Fennoskandiassa

Seloste artikkelista: Wallenius, T., Kuuluvainen, T., Heikkilä, R. & Lindholm, T. 2002. Spatial tree age structure and fire history in two old-growth forests in eastern Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 185–199.

Kahdella vanhaan metsään tehdyllä avohakkuulla tutkittiin puuston ikärakennetta ja puiden sijoittumista toisiinsa nähden metsiköissä. Kummankin tutkimuskohteen palohistoria selvitettiin myös niin pitkälle kuin mahdollista puuston ikärakennetta selittävänä tekijänä. Tavoitteena oli selvittää 1) minikälaisia ovat puiden ikäjakaumat, 2) kuinka puuston ikärakenne, spatiaalinen- eli tilarakenne ja menneet häiriöt kuten metsäpalot liittyvät toisiinsa, 3) näkykö puuston spatiaalisessa ikärakenteessa merkkejä häiriöiden ja uudistumisen mittakaavasta.

Tutkimus suoritettiin yhdellä kuusivaltaisella (3,3 ha) ja yhdellä mäntyvaltaisella (6,3 ha) paikalla keskiborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä Etelä-Kuhmossa. Vanhassa metsässä tehdyt avohakkuut mahdollistivat ikä- ja tilarakenteen tarkan tutkimuksen. Kaikista kantoläpimitaltaan yli 5 cm paksuista elävistä puista sahattiin kiekko iän määrittystä varten. Näiden yhteensä 7 669 puun ikä laskettiin laboratoriossa mikroskoopin avulla. Maastossa kantojen sijainnit määritettiin kolmiulotteisessa koordinaatistossa maanmittareiden käyttämällä tarkalla mittalaitteella, takymetrillä. Tutkimusalueiden palohistoriaa selvitettiin etsimällä ja sahaamalla näytteitä palokoroja saaneista puista eri puolilta alueita. Yhteensä koronäytteitä kerättiin ja ajoitettiin 53 puusta. Kuolleista puista sahatut palokorot ristiinajoitettiin elävien puiden kanssa vertailemalla vuosilustojen paksuuksia.

Puiden spatiaalista rakennetta tutkittiin laskemalla aineistosta Rippleyn K-funktion arvoja eri mittakaavoissa välillä 0,5–30 m. Tällä analyysillä pystytään päättämään kasvavatko puut metsässä satunnaisesti toisistaan välittämättä, toistensa läheisyyttä suo-

sien vai järjestäytyneesti toisiaan välttären. Puiden spatiaalista ikärakennetta selvitetttiin laskemalla semivariogrammeja puiden iän ja sijainnin suhteen. Tämä menetelmä paljastaa puiden iän mahdollisen paikkaan liittyvän autokorrelaation ja vastaa kysymykseen onko metsässä esim. aukkouudistumisen myötä syntyneitä puukohorteja ja mikä näiden uudistumisryppäiden mittakaava on. Hyödylliseksi osoittautui myös aineiston tarkastelu Arc View GIS -paikkatieto-ohjelmistolla. Näin pystyttiin löytämään esimerkiksi metsäpalojen polttamat alueet joissa ei tiettyä ikäluokkaa vanhempia puita juurikaan esiintynyt.

Kuusivaltaiselta tutkimusalueelta löytyi palokoroja neljästä eri metsäpalosta vuosilta 1674, 1731, 1804 ja 1824. Palot eivät kuitenkaan olleet polttaneet joka kerta koko 3,3 hehtaarin laajuista metsikköä, vaan esimerkiksi vuosien 1804 ja 1824 palot sattuivat eri osissa tutkimusala. Mäntyvaltaiselta tutkimusalueelta sahatuista palokoroista paljastui, että metsä oli paikalla palanut vuosina 1779, 1827 ja 1858. Päätellen palokorojen ja palojen jälkeen tapahtuneen uudistumisen sijainnista ainakin kaksi viimeisintä paloa oli polttanut koko tutkimusalueen vain 31 vuotta välissään.

Johtuen alueiden erilaisesta palohistoriasta ja kuusten ja mäntyjen erilaisesta palon kestävydestä tutkitujen kuusivaltaisen ja mäntyvaltaisen metsiköjen puustojen ikärakenteet erosivat selvästi toisistaan. Kuusivaltaisella paikalla palot olivat olleet voimakkaita ja tappaneet lähes kaiken puuston, kun taas mäntyvaltaisella paikalla palot olivat olleet osin heikompiä ja jättäneet henkiin paljon aiempaa mäntypuustoa ja osan kuusistakin. Kuusivaltainen metsikkö koostui neljästä eri-ikäisestä metsikkölaikusta joissa viimeisestä metsäpalosta oli kulunut eripituinen aika. Kolmesta näillä laikuista puuston ikäjakauma muodostui yhdestä palon jälkeen syntyneestä kohortista, mutta vanhimmalla osalla yksihuippuisessa ikäjakaumassa ei ollut selvästi dominoivaa kohorttia. Mäntyvaltaisella paikalla puuston ikäjakauma oli monikohorttinen ja muodostui kahdesta palon jälkeen syntyneestä mäntykohortista ja myöhemmin metsän sisään syntyneestä kuusialikasvoksesta.

Molemmilla tutkimusalueilla puut kasvoivat enemmän tai vähemmän satunnaisesti sijoittuneina metsään. Myöskään puuston iän spatiaalinen autokorrelaatio ei ollut tutkimusmetsissä kovin vahvaa, lukuun ottamatta metsäpalojen luomia kuvioita kuusivaltaisella paikalla, jotka näkyivät selvästi analyyssissä. Iän spatiaalisen autokorrelaation vähäisyys tarkoittaa, että eri-ikäiset puut kasvoivat metsässä siksokin toistensa joukossa muodostamatta erillisiä uudistumislaukkuja. Näin oli asian laita myös kuusivaltaisen paikan vanhimmassa metsikköä, pitkälti yli 200 vuotta viimeisen palon jälkeen. Tulokset osoittavat metsäpalojen merkityksen puuston ikärakenteen muovaajina ja viittaavat siihen, että palon jälkeen syntyneet puut säilyttävät valta-asemansa hyvin pitkään.

■ FM Tuomo Wallenius, Helsingin yliopisto, ekologian ja systematiikan laitos; dos. Timo Kuuluvainen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos; dos. Raimo Heikkilä, Kainuun ympäristökeskus, Ystävyden puiston tutkimuskeskus; dos. Tapio Lindholm, Suomen ympäristökeskus, Luonto- ja maankäytöyksikkö. Sähköposti tuomo.wallenius@helsinki.fi