

Pekka Eskelinen

Puun sisäisen makro- rakenteen mikroaalto- tekninen analysointi

Seloste artikkelista: Eskelinen, P. & Eskelinen, H. 2000. A K-band microwave measuring system for the analysis of tree stems. *Silva Fennica* 34(1): 37–45.

Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa on sähköosaston ja koneosaston yhteistyönä suunniteltu ja toteutettu koelaitteisto, joka mittaa tutkitavan puun läpi kulkeneen ja siitä heijastuneen K-alueen mikroaaltosignaalin vaimennus-, vaihe ja polarisaatiokäyttäytyminen paikan ja suunnan funktiona. Yliopiston lisäksi tutkimusta on merkittävästi rahoittanut Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö hankkeessa ”Kasvavien puiden ja kokorunkojen mikroaaltoteknisten arviointimenetelmien kehittäminen”. Koottu järjestely on osoittautunut toimivaksi, valittu taajuusalue ja tehotaso ovat kutakuinkin oikeat, ja menetelmä näyttäisi soveltuvan varsin hyvin sekä yksittäismittauksiin että esimerkiksi metsäkoneuypiseen massatuotantoon. Lateraalinen resoluutio on kohtalainen, anturin dimensioista riippuen muutamia senttimetrejä ja askelvaste 10–20 μs :n luokkaa. Pienetkin oksat, näiden laatu, monia lahovikoja, hyönteisten tekemiä käytäviä ja terve puun tiheysvaihteluita kyetään mittaamaan suhteellisilla asteikoilla. Antureiden aiheuttama tehotiheys ei nykyisen tietämyksen valossa aiheuta terveysriskejä käyttäjille. Laitteisto on toistaiseksi ollut laboratorio-oloissa, mutta suurin osa analysoidusta materiaalista on silti ollut kaatotuoretta. Koejärjestelyä havainnollistaa kuva 1.

Jatkotutkimuksissa on keskitytty selvittämään

keinot, joilla rungon läpi kulkeneen mikroaaltosignaalin polarisaatiokäyttäytyminen pystytään nopeasti ja luotettavasti mittaamaan ja edelleen suunnittelemaan tähän tarkoitukseen soveltuvat, riittävän pienikokoiset ja todellisissa metsäoloissa kestävät anturit. Toisena päämääränä on ollut taajuuspyyhkäisyyn perustuvan täydennyksen toteuttaminen koelaitteistoon niin, että H_2O -absorptio havaitaan täsmällisemmin ja voidaan erotella varsinaisen puukuidun aiheuttamasta vaimennuksesta. Tässä keskeistä on ollut sopivan taajuusalueen ja pyyhkäisy nopeuden löytäminen, mikä on edellyttänyt runsaasti kokeellista tutkimusta. Jo kehitetyt ja parhaillaan tutkittavat menetelmät ja tekniikat voivat tehostaa sekä runkojen arviointia että nopeuttaa ja tarkentaa korjuuvaiheen lajittelua. Teollinen soveltaminen esim.



Kuva 1. Käsittelyn helpottamiseksi laboriolaitteistossa mitattava tukki on paikoillaan ja mikroaaltoyksikkö liikkuu sen ympärillä ohjainkiskojen varassa. Kaikki kaapelipituudet on pyritty optimoimaan parhaimman C/N-suhteen saavuttamiseksi, mikä on johtanut ”kolmiulotteiseen” asennusgeometriaan.

metsäkoneiden täydennyksenä lienee mahdollista, kunhan perustutkimuksena tehtävät selvitykset ja lukuisat valmistettavuusnäkökohdat on viimeistelty.

■ Prof. Pekka Eskelinen, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, elektroniikan laitos. Sähköposti ari.eskelinen@pp.inet.fi

Juha Kaitera

Tervasrosan koroanalyysi nuorissa metsämännnyissä

Seloste artikkelista: Kaitera, J. 2000. Analysis of *Cronartium flaccidum* lesion development on pole-stage Scots pines. *Silva Fennica* 34(1): 21–27.

Tervasroso on yksi pahimmista, yleisimmistä ja laaja-alaisimmin levinneistä metsämännyn sienitaudeista Pohjois-Euroopassa. Taudin aiheuttavat ruostesienet, jotka leviävät joko suoraan männystä mäntyyn helmi-itiöiden avulla (*Peridermium pini*) tai männystä väli-isäntäkasveihin helmi-itiöiden avulla ja edelleen takaisin mäntyyn kantaitiöiden avulla (*Cronartium flaccidum*). Meillä esiintyvä tervasroso on pääasiallisesti *P. pini*n aiheuttamaa, mutta myös *C. flaccidum*in aiheuttamaa tervasrosaa esiintyy paikoitellen. *Cronartium flaccidum*in esiintymistä ei kuitenkaan ole seikkaperäisesti selvitetty maassamme. Tervasrosotutkimus on historiallisesti keskittynyt Skandinaviassa pääasiassa *P. pini*n, joten tieto *C. flaccidum*in taudinkehityksestä ja infektiosta eri mäntylajeilla puuttuu kokonaan.

Tässä työssä tarkasteltiin *C. flaccidum*in aiheuttamaa tyypillistä luonnontartuntaa vakavasti sairaassa nuorena kylvömannikössä Pohjois-Suomessa. Tutkimuksessa seurattiin 5 vuoden ajan (1993–97) sienin infektiotilaa metsikön sisällä puittain, helmi-itiöpesäkkeiden kehittymistä, itiöinnin kestoa ja sienin kasvua tautisissa männnyissä. Tautifrekvenssiä tarkasteltiin suhteessa infektoituneen verson ikään. Tutkimuksen tarkoituksena oli kuvata vakavasti sairaan männikön epidemiahistoria, metsikön nykyinen tautitila ja seurata tervasroso-sienen männnyllä esiintyvien helmi-itiöpesäkkeiden

kehitystä, sienin itiöintiä ja kasvua tautisissa männnyissä seurantajaksolla.

Pahasti sairaassa männikössä (67 % männnyistä tervasrosaisia) todettiin keskimäärin 6,5 tervasrosokoroa per sairas mänty (1–24 koroa per puu). Tervasrosokorojen esiintyminen oli keskittynyt pieneen osaan puista, sillä 25 %:ssa puista oli yli 9 tervasrosokoroa per puu, kun taas 37 %:ssa puista esiintyi vain 1–2 koroa per puu. 90 % koroista esiintyi oksissa ja vain 10 % rungolla. Metsikössä oli esiintynyt tervasrosaa korojen iän perusteella vuosittain, mutta varsinkin 1980-luvun alkupuolella korojen frekvenssissä esiintyi vuosittaisia huippuja osoituksena epidemiovaihteluista. Tutkimusajanjakson aikana valtaosa (83 %) ensimmäistä kertaa itiöivistä itiöpesäkkeistä syntyi 5–10 vuotta vanhoihin versoihin (vaihteluväli 3–20 vuotta). Suurin osa uusista pesäkkeistä ilmestyi 1987–89 vuonna syntyneisiin versoihin (94 % oksiin). Keskimääräinen vuotuinen itiöivän koron pituus oli 3,8–4,4 cm, mutta koron pituus oli tilastollisesti merkittävästi suurempi ainoastaan 1995 verrattuna vuoteen 1993. Valtaosa koroista (82 %), jotka aloittivat ja lopettivat itiöintinsä tutkimuksen aikana, itiöi ainoastaan 1–2 vuotta itiöinnin päättyessä oksan (ja koron) kuolemiseen. Silti pieni osa (14 %) koroista, jotka olivat aloittaneet itiöintinsä jo ennen tutkimuksen aloittamista, jatkoi itiöintiään koko tutkimusajanjakson ajan itiöiden täten yli 6 vuotta. Helmi-itiöpesäkkeiden vuosittaisen pituuden perusteella sienin kasvussa ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja koko aineistossa infektiokohdasta verson kärkeä kohti verrattuna sen tyveä kohti, vaikka ko. pituus oli hieman suurempi verson tyveä (2,15 cm) kuin sen kärkeä (1,80 cm) kohti.

Tutkimusmetsikön *C. flaccidum*in korofrekvenssit olivat jonkin verran korkeammat kuin vastaavissa aikaisemmissa tutkimuksissa *P. pini*-metsiköissä on saatu mm. Skotlannissa. Sen sijaan korojen keskittyminen muutamiin puihin on hyvin samanlainen kuin aikaisemmissa *P. pini*-tarkasteluissa Ruotsissa ja Iso-Britanniassa on havaittu. Vastaavia tutkimuksia *C. flaccidum*-metsiköistä ei kuitenkaan ole tehty. Niinikään epidemiovaihteluista ei ole kuvattu *C. flaccidum*illa, mutta sekä *P. pini*llä että pohjois-amerikkalaisilla tervasrosan sukulaissienillä on raportoitu ns. epidemia-aalloista, jolloin epidemiohuitut esiintyvät tiettyinä vuosina kuten tässä tutkimuk-

sessakin havaittiin. Säätekijöiden vaikutus ruoste-epidemioihin on osoitettu muilla ruostesienillä. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että uudet helmi-itiöpesäkkeet kehittyvät verrattain vanhoissa versoissa toisin kuin *P. pinillä*. Tämä voi johtua siitä, että kantaitiöiden avulla männyn neulasiin tai nuorimman verson haavojen kautta tapahtuva tartuntaa johtaa vastaavaa helmi-itiötartuntaa (*P. pini*) hitaammin ensimmäisten pesäkkeiden syntymiseen, tai valtaosa kantaitiötartunnasta tapahtuu vanhojen versojen haavojen kautta. Aikaisempi tervasrosotutkimus (*P. pinillä*) ei kuitenkaan tue jälkimmäistä vaihtoehtoa. Sienen havaittiin tuottavan pesäkkeitä infektiokohdan ympärille jatkuvasti vuosittain sienen kasvun ollessa hieman suurempi verson vanhempaa osaa kuin sen nuorempaa osaa kohti. Samanlainen tulos on saatu aikaisemmin myös *P. pinillä*. Tässä tutkimuksessa valtaosa aktiivisista koroista itiöi vain 1–2 vuotta itiöinnin loppuessa koron ja infektoituneen verson kuolemiseen. Silti pieni osa koroista oli hyvin pitkäikäisiä itiöinnin jatkua jopa yli 6 vuotta itiöinnin alkamisesta. Vastaavia tutkimuksia niin *C. flaccidumin* kuin *P. pini* itiöinnistä ei ole tehty.

■ MMT Juha Kaitera, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Sähköposti juha.kaitera@metla.fi

Jarkko Koskela

Prosessipohjainen kasvumalli mätäs vaiheen männyntaimille

Seloste artikkelista: Koskela, J. 2000. A process-based growth model for the grass stage pine seedlings. *Silva Fennica* 34(1): 3–20.

Kaakkoisaasialaisen merkusinmännyn (*Pinus merkusii*) taimet ovat sopeutuneet toistuvii maastopaloihin muodostamalla ns. mätäs vaiheen, jonka aikana pituuskasvu on hidasta usean vuoden ajan taimien kasvun keskittyessä juuristoon ja rungon korkkikerrokseen. Lisäksi pitkät, tiheäksi kimpuksi ryhmittyneet neulaset suojaavat lyhyen ver-

son kärkisilmua. Luonnonoloissa taimet aloittavat normaalin pituuskasvun vasta noin 3–7 vuoden iässä, populaatiosta riippuen. Viime vuosikymmeninä lisääntynyt kaskiviljely ja liialliset hakkuut ovat merkittävästi vähentäneet mäntymetsien määrää useissa Kaakkois-Aasian maissa ja vaarantaneet metsien uudistumiskyvyn vaikka mäntylaji onkin hyvin sopeutunut tulen esiintymiseen.

Tutkimuksessa analysoitiin merkusinmännyn taimien kasvua elintoimintojen osana. Elintoiminnoillaan kasvit vaihtavat ainetta ympäristön kanssa ja kuljettavat aineita kasvinosasta toiseen, muuttavat niitä eri yhdisteiksi ja käyttävät aineita kasvuun. Elintoimintoja kuvattiin prosessipohjaisella, dynaamisella kasvumallilla, jossa uuden kasvun jakaantumisen eri kasvinosien välillä pohjautui puiden vedenkuljetusrakenteen ja vettä haihduttavan latvuston vuorovaikutukseen sekä hiilensidonnan ja ravinteidenoton väliseen tasapainoon. Työssä tutkittiin lisäksi mätäs vaiheen aikaisen kasvun ja fysiologian geneettistä vaihtelua Pohjois-Thaimaan vuoriston ja Koillis-Thaimaan tasankoalueen mäntypopulaatioiden välillä. Empiirinen aineisto hankittiin kasvatuskammiokokeella, jonka tuloksien avulla kasvumalli parametrisoitiin ja simuloitua kasvua verrattiin mitattuun kasvuun. Lisäksi mallille tehtiin herkkyysanalyysi, jossa tutkittiin parametrisoijien muutosten vaikutuksia mallin antamiin tuloksiin kullakin mäntypopulaatiolla erikseen.

Kasvumallilla simuloitu taimien biomassan kasvu kuvasi hyvin kasvatuskammiossa mitattua biomassan kasvua. Verson sisäisellä varjostuksella ja hienojuurten typenotolla havaittiin olevan keskeinen vaikutus mallin antamiin tuloksiin. Kokeen aikana mäntypopulaatioiden välillä havaittiin geneettisiä eroja biomassan kasvussa, typenkäytön tehokkuudessa, pituuden ja läpimitan kasvussa sekä rungon ja hienojuurten hiilipitoisuudessa. Myös neulasten, kuljetusjuurten ja hienojuurten typpipitoisuudessa havaittiin eroja. Havaittu geneettinen vaihtelu noudatti populaatioiden välistä maantieteellistä jakoa vain biomassan ja läpimitan kasvun erojen osalta.

Aikaisempien tutkimusten mukaan Kaakkois-Aasian mantereen vuoristoalueilla kasvavien mäntypopulaatioiden mätäs vaihe on pidempi kuin alueen tasankojen mäntypopulaatioilla. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että geneettinen vaihtelu tai-

mien kasvussa ja fysiologiassa ei aina noudata mainittua maantieteellistä jakoa ja että vaihtelu kasvupaikkakohtaisissa ympäristöoloissa on huomattavasti vaikuttanut mäntypopulaatioiden sopeutumiseen maastopaloihin. Suunniteltaessa metsänhoidollisia toimenpiteitä, kuten heinimistä, jäljellä olevien mäntymetsien uudistumisen turvaamiseksi tarvitaan siis myös kasvupaikkakohtaista tietoa mätäs vaiheen kestosta kasvupaikan sijainnin lisäksi. Tässä tutkimuksessa esitelty kasvumalli on käyttökelpoinen apuväline myös tutkittaessa erilaisten metsänhoito-toimenpiteiden vaikutuksia taimien kasvuun maasto-oloissa.

■ MMT Jarkko Koskela, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos/trooppisen metsänhoidon yksikkö. Sähköposti jarkko.koskela@helsinki.fi

Jouni Pykäläinen

Teemahaastattelu vuorovaikutteisessa metsäsuunnittelussa

Seloste artikkelista: Pykäläinen, J. 2000. Defining the forest owner's forest-management goals by means of thematic interview in interactive private forest planning. *Silva Fennica* 34(1): 47–59.

Teemahaastattelu ja sen sovellus

Tilakohtaisen metsäsuunnittelun tueksi on esitetty lukuisia optimointimenetelmiä. Metsänomistaja ei kuitenkaan välttämättä osaa tai halua ilmaista tavoitteitaan suoraan optimointimenetelmän edellyttämällä tavalla. Tarvitaan laadullista tavoiteanalyysiä, joka ei edellytä tavoitteiden numeerista mallintamista. Optimointimenetelmien käyttö helpottuu oleellisesti, jos metsänomistajan tavoitteet kyetään määrittämään realistisesti etukäteen. Tässä tutkimuksessa esitetään teemahaastattelun sovellus metsäsuunnitteluun ja testataan menetelmää käytännön suunnittelussa.

Teemahaastattelussa ongelmat, joihin haetaan vastausta, ja teemat, joihin kysymykset kohdennetaan, on mietitty etukäteen. Kysymykset voidaan tyypitellä mm. avoimiin ja suljettuihin kysymyksiin sekä tosiasia-, tieto- ja mielipidekysymyksiin. Haastattelussa edetään yleisistä kysymyksistä yksityiskohtaisiin kysymyksiin. Teemahaastattelu sopii hyvin tunnelatauksia sisältävien, heikosti tunnettujen ja harvoin toistuvien asioiden tutkimiseen.

Tässä tutkimuksessa teemahaastattelulla (i) nimitään metsänomistajan tavoitteet, (ii) sidotaan tavoitteet aikaan ja paikkaan sekä (iii) määritellään tavoitteiden keskinäiset tärkeudet (kuva 1). Haastattelun tuloksena saadaan sanallinen kuvaus metsänomistajan tavoitteista. Optimoinnin tavoitemuuttajat valitaan tilakohtaisten tavoitteiden mukaisesti. Kuviokohtaiset tavoitteet otetaan huomioon rajamalla tarvittaessa kuviolla sallittuja käsittelyvaihtoehtoja.

Koekäyttö, tulokset ja johtopäätökset

Teemahaastattelua kokeiltiin Polvijärvellä ja Pyhäselässä. Suunnittelu aloitettiin teemahaastattelulla ja suunnitelmat koostettiin vuorovaikutteisella heuristisella optimoinnilla. Suunnitteluohjelmistona käytettiin Monsua.

Metsänomistajien yleisin tavoiteprofiili oli saada suunnittelukaudella mahdollisimman suuret ja tasaiset nettotulot alentamatta metsän taloudellista arvoa. Puolet Polvijärven 14 metsänomistajasta löysi mieleisensä suunnitelman ensimmäisellä optimointikerralla, 36 % toisella ja 14 % kolmannella. Pyhäselässä optimoinnin kulkua ei kirjattu ylös.

Metsänomistajilta kerättiin palautetta kyselylomakkeella. 22 lomakkeesta palautettiin 19. Kyselyn mukaan metsänomistajat tunsivat tavoitteensa melko tarkasti jo ennen suunnittelua (melko tarkasti 68 %, ei tarkasti eikä epätarkasti 26 %, melko epätarkasti 5 %). Silti 79 % metsänomistajista oli sitä mieltä, että teemahaastattelu selkiytti heidän tavoitteitaan. Myös vuorovaikutteinen tietokone-suunnittelu sai myönteisen vastaanoton. Se oli melko helppo ymmärtää (erittäin helppo 16 %, melko helppo 63 %, ei helppo eikä vaikea 21 %), ja tietokoneen avustamana valitut suunnitelmat vastasivat metsänomistajien tavoitteita hyvin (erittäin hyvin

ONGELMAT	TEEMALUOKAT	TEEMAT	TAVOITEMUUTTUJAT	MUUT KEINOT
TAVOITTEET ?	TALOUS	Puumyöntitulot	Nettotulot	
		Metsän taloudellinen arvo	Puuston määrä ja arvo Puuston arvokasvu	
		Kotitarvepuu	Tukkikertymä	
AIKAAN JA PAIKKAAN SIDOTUT TÄRKEYTEET ?	MAISEMA	Kaukomaisema	Avohakkuuala	Maiseman visualisointi Vaihtoehtojen rajoittaminen
		Lähimaisema	Lähimaisemaindeksi Eri puulajien tilavuudet Avohakkuuala	Maiseman visualisointi Vaihtoehtojen rajoittaminen
TAVOITTEIDEN KESKINÄISET TÄRKEYDET ?	RIISTA	Metso	Vanhan metsän ala	Vaihtoehtojen rajoittaminen
		Teeri	Koivun tilavuus	Vaihtoehtojen rajoittaminen
	MARJAT JA SIENET	Mustikka	Satoennuste	
		Puolukka	Satoennuste	
		Sienet	Satoennuste	
LUONNON- SUOJELU	Tietyt lajit	Vaihtoehtojen rajoittaminen		
	Kokonaisvaltainen monimuotoisuus	Monimuotoisuusindeksi Vanhan metsän ala Lahopuun ja lehtipuun tilavuudet		
		HAASTATELURUNKO	TAVOITTEIDEN OPERATIONAALISTAMINEN	

Kuva 1. Haastattelurunko ja tavoitteiden operationaalistaminen.

26 %, melko hyvin 53 %, ei hyvin eikä huonosti 21 %). Tavoitteet tunnettiin suunnittelun jälkeen tarkemmin kuin ennen suunnittelua (erittäin tarkasti 16 %, melko tarkasti 79 %, ei tarkasti eikä epätarkasti 5 %).

Metsänomistajista 89 % kiinnostui aiempaa enemmän metsätaloudesta ja 63 % oppi jotain uutta. 84 %:n mukaan suunnittelun ulkopuolelle ei jäänyt mitään oleellista. Loput 16 % eivät kertoneet palautelomakkeessa, mitä jäi puuttumaan. 89 % haluaisi osallistua seuraavallakin kerralla kokeillun kaltaiseen suunnitteluun. 25 % oli täysin samaa mieltä ja 33 % jonkin verran samaa mieltä väitteen ”Myös metsäkeskuksen pitäisi ottaa nyt kokeillun kaltainen suunnittelu käyttöön. Muuten on olemassa vaara, ettei suunnitelma vastaa metsänomistajan tavoitteita” kanssa. 42 % ei ottanut kantaa asiaan. Väittämä esitettiin ainoastaan Polvijärven metsänomistajille.

Teemahaastattelu osoittautui hyväksi laadulliseen tavoiteanalyysiin menetelmäksi vuorovaikutteisessa metsäsuunnittelussa. Tavoitteet saatiin määriteltyä ja otettua aidosti huomioon suunnittelussa. Teemahaastattelu oli tarpeen, vaikka tavoitteet tun-

nettiin melko tarkasti jo ennen suunnittelua. Huonommin tavoitteensa tuntevia omistajia teemahaastattelu saattaisi palvella vieläkin paremmin.

■ MML Jouni Pykäläinen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti jouni.pykalainen@joensuu.fi