

Veikko Huhta ja Mika Rätty

Istutuskoivikoiden maaperäeläinyhteisöt Keski-Suomessa

Seloste artikkelista: Huhta, V. & Rätty, M. 2005. Soil animal communities of planted birch stands in central Finland. *Silva Fennica* 39(1): 5–19.

Tutkimuksen tavoitteena oli verrata eri maaperille istutettujen koivikoiden maaperäeläinyhteisöjä toisaalta keskenään ja toisaalta luontaisesti syntyneisiin lehtimetsiin samoilla leveysasteilla. Yhteensä tutkittiin 9 metsikköä: kolme kuusikoiden avohakkuualoille istutettua koivikkoa, kolme hylätyille pelloille istutettua koivikkoa, ja kolme luontaisesti syntyntä lehtimetsää (lehtoa). Kasvillisuus ja maaperän fysikaalis-kemialliset ominaisuudet analysoitiin, jotta voitaisiin selittää havaittuja eroja. Neljä laboratorionkoetta järjestettiin kenttähavaintojen pohjalta syntyneiden hypoteesien testaamiseksi.

Eläinyhteisöt poikkesivat merkitsevästi toisistaan eri alkuperää olevissa istutuskoivikoissa, samoin kuin näiden ja luontaisesti syntyneiden lehtimetsien välillä, mutta vielä enemmän samasyntyisten metsiköiden eri toistojen välillä. Kokonaisyksilömäärät ja lajirunsaus olivat keskimäärin alimmat entisillä viljelymailla. Erityisen niukasti edustettuina olivat kuoripunkit (Oribatida), jotka ovat tyypillisiä havumetsämaan eläimiä. Myös änkyrimatojen (Enchytraeidae) populaatiot olivat peltokoivikoissa alemmat, mutta lajiversiteetti oli suurempi kuin kuusimetsämaahan perustetuissa koivikoissa. Jälkimmäisissä vallitsevin laji oli ”metsä-änkyri” *Cognettia sphagnetorum*. Kaikkein suurin ero oli lieroyhteisöissä (Lumbricidae): metsäliero (*Dendrobaena octaedra*) muodosti yhden lajin yhteisön yhdessä kuusikkoon perustetussa koivikossa, kun taas kahdessa muussa oli lisäksi kolmea *Lumbricus*-suvun lajia sekä

peltolieroa (*Aporrectodea caliginosa*). Kaikki nämä esiintyivät myös pelloille perustetuissa koivikoissa.

Laboratoriokokeet osoittivat, että lierolajit *Aporrectodea caliginosa* ja *Lumbricus terrestris* pystyvät elämään ja lisääntymään myös niiden koalueiden maassa, missä niitä ei luonnossa tavattu. Maaperän ominaisuudet selittivät vain osittain yhteisöjen välillä todettuja eroja. Monien maaperäeläinten, varsinkin lierojen ja änkyrimatojen, leviämiskyky on rajallinen, ja niiden levinneisyys riippuu sattumanvaraisesta kulkeutumisesta ihmisen mukana. Lierojen puuttuminen eräiltä koaloilta selittyy ilmeisesti näiden eristyneisyydellä kulttuuriympäristöstä. Jos kaivautuvat lierolajit (*A. caliginosa* ja *L. terrestris*) ovat vakiinnuttaneet populaationsa tietylle paikalle, ne muuttavat maaperän fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia ja vaikuttavat negatiivisesti muiden eläinten populaatioihin, mikä myös tuli esiin laboratorionkokeissa. Kaikkiaan voidaan todeta, että maaperän eläinyhteisöjen rakenne on tulosta edafisten tekijöiden, maankäytöhistorian, eri lajien dispersiokyvyn ja lajienvälisten vuorovaikutusten monimutkaisesta yhteispelistä.

■ Prof. Veikko Huhta, Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos; MMM Mika Rätty
Sähköposti v.huhta@pp.inet.fi

Lauri Mehtätalo

Pitkittäisaineistosta laaditut pituusmallit kangasmaiden männyille ja koivuille

Seloste artikkelista: Mehtätalo, L. 2005. Height-diameter models for Scots pine and birch in Finland. *Silva Fennica* 39(1): 55–66.

Puiden pituus on kiinnostava tieto esimerkiksi metsikön puuston tilavuutta määrittäessä. Pituuden mittaaminen on kuitenkin työlästä, ja siksi esimerkiksi metsäsuunnittelun laskentajärjestelmissä puiden pituus yleensä ennustetaan sopivalla pituusmallilla. Ennustamisessa on tärkeää, että kaikki käytössä oleva informaatio voidaan hyödyntää tehokkaasti. Tässä työssä oli tavoitteena estimoida läpimitta-pituuskäyrän malli männyille ja koivulle erityisesti metsäsuunnittelun tarpeisiin. Työ on jatkoa aiemmalle tutkimukselle, jossa estimoitiin vastaavanlaiset mallit kuuselle. Työn metodologisena tavoitteena oli tutkia, voidaanko läpimitta-pituuskäyrän kehitystä kuvata samanlaisella mallilla sekä valo- että varjopuulajeilla. Mallit laadittiin Metsäntutkimuslaitoksen keräämästä INKA-aineistosta, joka sisältää kangasmaiden kasvatus- ja uudistuskypsiä metsiköitä.

Tutkimuksessa estimoitiin kummallekin puulajille viisi erilaista mallia, jotka poikkesivat toisistaan käytettyjen selittäjien suhteen. Tällä pyrittiin siihen, että kuhunkin erilaiseen ennustamistilanteeseen olisi olemassa malli, joka käyttää hyväksi kaikki metsiköstä mitatut tunnuksot, mutta vältyttäisiin tilanteelta, jossa jonkun mittauksen puuttuminen estää pituuksien ennustamisen. Suppeimman mallin ainoana selittäjänä on metsikön pohjapinta-alalla painotettu mediaaniläpimitta ja laajimman mallin selittäjinä on erilaisia metsikön maantieteellisestä sijaintia, kasvupaikkaa ja puustoa kuvaavia muuttujia. Kaikilla viidellä mallilla saatuja ennusteita voidaan tarkentaa mitattujen pituuskoepuiden avulla. Jo yhdestä pituuskoepuusta saatu informaatio voidaan hyödyntää ja koepuiden lisääminen parantaa ennusteiden tarkkuutta. Pituuskoepuut voivat olla myös eri ajanhetkiltä, mutta kaikkien mallin kiinteiden selittäjien arvot on tunnettava koepuiden mittaushetkiltä. Mal-

leilla voidaan ennustaa läpimitta-pituuskäyrä millä tahansa ajan hetkellä. Tutkimuksessa esitettiin kaksi esimerkkiä siitä, kuinka koepuiden pituuksia käytetään hyväksi ennustamisessa.

Varjopuulajeilla pohjapinta-alalla painotettu mediaanipuun läpimitta on huomattavasti ikää parempi metsikön kehitystä kuvaava muuttuja. Tämä johtuu siitä, että varjopuut saattavat juroa alikasvoksesta vuosikautia ja alkaa valaistusolojen parannuttua kasvaa kuin nuoret taimet. Lisäksi metsikön kehitys taimikosta uudistuskypsäksi kestää karulla kasvupaikalla pitempään kuin rehevällä paikalla. Tutkimuksessa havaittiin, että koska jälkimmäinen perustelu pätee myös valopuulajeille, päädytään myös valopuulajeilla yksinkertaisempaan malliin, kun metsikön kehitys sidotaan keskiläpimittaan. Mallin soveltamisvaiheessa tämä kuitenkin vaatii myös mallin metsikön pohjapinta-alalla painotetun mediaaniläpimitan kehitykselle. Tällainen malli myös esitettiin tutkimuksessa.

■ MMM Lauri Mehtätalo, Metla, Joensuun tutkimuskeskus.
Sähköposti lauri.mehtatalo@metla.fi

Antti Mutanen ja Anne Toppinen

Metsäverouudistus ja tukkipu-markkinoiden toiminta

Seloste artikkelista: Mutanen, A. & Toppinen, A. 2005. Finnish sawlog market under forest taxation reform. *Silva Fennica* 39(1): 117–130.

Siirtyminen Suomen metsäverotuksessa laskennallisesta pinta-alaverosta puun todellisten myyntitulojen verotukseen toteutettiin vaiheittain. Vuonna 1993 alkaneen 13-vuotisen siirtymäkauden ajaksi pinta-alaverotukseen jäi 34 prosenttia metsänomistajista, joiden osuus yksityismetsien hakuuomahdoluksista oli arviolta 45 prosenttia siirtymäkauden alussa. Ennakko-oletuksena metsäverouudistuksen vaikutuksista puun tarjontaan on ollut siirtymävaiheen aikainen tarjonnan vahvistuminen ja siirtymäkauden

jälkeinen tarjonnan tilapäinen supistuminen.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, ovatko metsäverouudistuksen toteutuneet makrotason vaikutukset olleet odotetun kaltaisia. Samalla päivitettiin Suomen raakapuumarkkinoiden kuvaukseen käytettyjä ekonometrisia malleja. Tutkimuksessa keskityttiin havutukkipuumarkkinoiden kuvaamiseen, koska tukit ovat yleensä peräisin päätehakuista, joiden määrään metsäverouudistuksen on oletettu vaikuttaneen eniten.

Tutkimuksessa estimoitiin koko maan tason kysyntä- ja tarjontayhtälöt sisältäneet tasapainomallit sekä kuusi- että mäntytukkipuulle. Kuusi- ja mäntytukkipuumarkkinoiden erottamista erillisiksi osamarkkinoikseen voitiin perustella kuusi- ja mäntytukin hintakehityksellä, joka oli ollut merkittävästi eriytynyttä tarkastelujaksolla 1986–2003. Analyytisten markkinamallien taustalla oli oletus kilpailullisista puumarkkinoista, joilla puun tarjoajat, yksityiset metsänomistajat, maksimoivat puun myyntitulonsa nykyarvoa ja puun ostajat, sahat, maksimoivat voittoa. Käytetyn mallin komparatiivistaattisten tulosten mukaan puun tarjonnan tulisi riippua positiivisesti puun nykyisestä hinnasta, puuvarannosta sekä korkotasosta. Puun odotettu hinta puolestaan vaikuttaa puun tarjontaan negatiivisesti. Puun kysynnän taas tulisi riippua positiivisesti lopputuotteen hinnasta ja tuotantokapasiteetin määrästä sekä negatiivisesti puun hinnasta. Metsäverouudistuksen vaikutusten selvittämiseksi kysyntäyhtälöihin lisättiin kolme tasovastemuuttujaa, jotka kuvasivat ennakointijaksoa ennen siirtymäkauden alkua (vuosi 1992), siirtymäkauden ensimmäisiä vuosia (vuodet 1993–1994) sekä siirtymäkauden keskivaihetta (vuodet 1995–2003).

Tutkimuksessa käytettiin neljännesvuositason aikasarjoja kaudelta 1986/1–2003/3. Neljännesvuosiaineiston etuna vuosiaineistoon verrattuna oli, että se sisälsi tilastollisia analyysejä varten riittävän määrän havaintoja metsäverouudistuksen siirtymäkaudelta. Kuusi- ja mäntytukin määrinä olivat koko maan tasolla yksityisten metsänomistajien ja metsäteollisuuden välisissä kaupoissa vaihdetut puumäärät ja hintoina määrillä painotetut keskikantohinnat. Markkinakorkoa kuvasi kolmen kuukauden helibor/euribor ja puuvarantoa valtakunnan metsien inventointiaineiston pohjalta simuloidut kuusi- ja mäntytukin tilavuussarjat. Sahojen lopputuotteiden

hintoina käytettiin kuusi- ja mäntysahatavaran fobvientihintoja. Ennen kysyntä- ja tarjontayhtälöiden estimointia aikasarjat logaritmoitiin ja niiden tilastolliset ominaisuudet tutkittiin. Tasapainomallit estimoitiin kantohintojen endogeenisuuden aiheuttaman harhan välttämiseksi kaksivaiheisella pienimman neliösumman menetelmällä.

Tulosten mukaan metsäverouudistuksen toteutuneet vaikutukset sekä kuusi- että mäntytukkimarkkinoilla ovat olleet odotetun kaltaisia. Metsäverouudistus näkyy puun myyntimäärien tilastollisesti merkitsevänä kohoamisena ennen siirtymäkauden alkua 1992, jolloin myyntituloveron siirtymäkauden ajaksi valinneet metsänomistajat valmistautuivat veromuodon muutokseen. Myös siirtymäkauden alussa ja sen keskivaiheen aikana kuusi- ja mäntytukin myynneissä on havaittavissa tilastollisesti merkitsevä kasvu.

Talusteorian implikoimien muuttujien kerroinestimaatit sekä kysyntä- että tarjontayhtälöissä olivat etumerkiltään odotetun kaltaisia, mikä osoittaa, että valittu kilpailullisten markkinoiden malli soveltuu hyvin Suomen havutukkimarkkinoiden kuvaamiseen. Tutkimustulokset myös korostavat kantohinnan tärkeää merkitystä puun tarjonnan tasoa määrittävänä tekijänä. Sekä kuusi- että mäntytukin tarjonta reagoi herkästi nykyisen ja odotetun kantohinnan muutoksiin. Lisäksi puun tarjonta on pitkällä aikavälillä ollut oman hinnan suhteen joustavaa: yhden prosentin kantohinnan nousu (lasku) on lisännyt (vähentänyt) 2,4 prosenttia kuusitukin ja 2,2 prosenttia mäntytukin tarjontaa.

Tutkimustulokset osoittavat, että metsäverouudistuksen tähän mennessä toteutuneet vaikutukset ovat olleet odotetun kaltaisia ja varsin maltillisia. Siirtymäkauden päättymisen vaikutuksista puun tarjontaan voidaan tulosten perusteella tehdä ainoastaan varovaisia päätelmiä. Siirtymäkauden päättymisen on rakenteellinen murros, joka sinällään voi vaikuttaa puun tarjonnan tasoon ainakin hetkellisesti. Tarkastelujakson pidetessä tutkimuksessa havaittu tarjotun puumäärän voimakas riippuvuus kantohinnan vaihteluista kuitenkin määrittää puumarkkinoiden toimintaa.

■ MMM Antti Mutanen, MMT Anne Toppinen, Metla, Joensuun tutkimuskeskus
Sähköposti antti.mutanen@metla.fi

Timo Pukkala ja Mikko Kurttila

Kuuden heuristisen optimointitekniikan suorituskyky erilaisissa metsäsuunnitteluongelmissa

Seloste artikkelista: Pukkala, T. & Kurttila, M. 2005. Examining the performance of six heuristic optimisation techniques in different forest planning problems. *Silva Fennica* 39(1): 67–80.

Heuristisia optimointitekniikoita käytetään yhä useammin numeeristen metsäsuunnitteluongelmien ratkaisemisessa mm. tekniikoiden joustavuuden ja monipuolisuuden, helpon ymmärrettävyyden sekä tietokoneiden suorituskyvyn paranemisen vuoksi. Esimerkiksi spatiaaliset suunnitteluongelmat, joissa kohteiden tai metsätalouden toimien keskinäisellä sijainnilla on merkitystä, voidaan ratkaista heuristisella optimoinnilla. Eri heuristiikkojen hakustrategiat ovat kuitenkin erilaisia, minkä vuoksi niiden suorituskyky vaikeudeltaan ja tyypiltään erilaisissa suunnitteluongelmissa voi vaihdella.

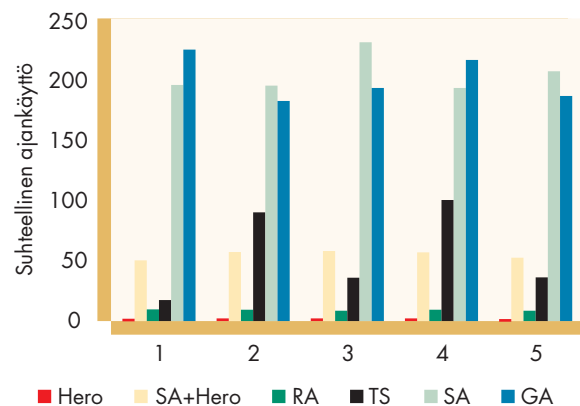
Tässä tutkimuksessa selvitettiin kuuden heuristisen optimointitekniikan suorituskykyä viidessä erilaisessa suunnitteluongelmassa. Suorituskykyä arvioitiin tavoiteyhtälön arvon sekä optimointiin käytetyn ajan perusteella. Suunnittelualueena käytettiin 985 hehtaarin kokoista metsäaluetta Pohjois-Karjalasta. Alue sisälsi 26 yksityismetsätalaa ja 736 kuviota. Suunnittelukauden pituus oli 60 vuotta ja se oli jaettu kolmeen 20 vuoden jaksoon.

Testatut heuristiset optimointitekniikat olivat 1) satunnaishaku, 2) Hero-tekniikka, 3) simuloitu jäähdytys (simuloitu mellotus) (SA, engl. simulated annealing), 4) SA:n ja Heron yhdistelmätekniikka (SA+Hero), 5) tabuhaku (TS, engl. tabu search) sekä 6) geneettinen algoritmi (GA, engl. genetic algorithm). Kaikkia näitä perustekniikoita sekä niiden muunnelmia on käytetty metsäsuunnitteluongelmien ratkaisemiseen.

Tavoiteyhtälönä käytettiin additiivista hyötymallia. Hyötymalliin sisällytettävien tavoitemuuttujien arvot muutettiin osahyötyfunktioiden avulla kokonaishyödyksi. Ensimmäisen suunnitteluongelman tavoitteena oli ainoastaan nettotulon nykyarvon

maksimointi. Toisessa ongelmassa maksimoitiin nettotuloja, puuston tuottoarvoa kolmen suunnittelujakson lopussa, virkistysarvoa sekä liito-oravalle sopivan elinympäristön määrää koko suunnittelu-kauden lopussa koko suunnittelualueella. Kolmas suunnitteluongelma sisälsi 26 tiloittaista osaongelmaa, jotka sisälsivät samat tavoitteet kuin ongelma 2 (tavoitefunktiona oli tiloittaisten hyötyfunktioiden summa). Neljäs ongelma sisälsi muuten samat koko aluetta koskevat tavoitteet kuin ongelma 2, mutta liito-oravalle sopivan elinympäristön pinta-alan lisäyksen ohella tavoitteena oli myös elinympäristökeskittymien muodostaminen suunnittelualueelle. Viidennessä ongelmassa tämä spatiaalinen liito-oravatavoite kohdennettiin koko alueelle, kun taas nettotulotavoite, puuston tuottoarvotavoitteet ja virkistystavoite kohdennettiin erikseen alueen tiloille.

Tekniikoiden löytämät tavoiteyhtälöiden arvot (laskettuna sadan optimointitointon keskiarvona) olivat hyvin lähellä toisiaan. Ensimmäisessä ja yksinkertaisimmassa suunnitteluongelmassa Hero ja SA+Hero löysivät aina parhaan mahdollisen ratkaisun. Hakustrategialtaan monimutkaisempi GA oli huonoin. Toisessa ja kolmannessa suunnitteluongelmassa eri tekniikoiden löytämät tavoiteyhtälöiden arvot olivat melko lähellä toisiaan. Spatiaalisissa suunnitteluongelmissa 4 ja 5 GA löysi parhaan ja Hero huonoimman tavoiteyhtälön arvon. Tekniikoiden optimointiin käyttämä aika oli hyvin erilainen



Kuva 1. Optimointiin käytetty aika eri suunnitteluongelmissa (x-akselilla ongelmat 1–5) suhteessa nopeimpaan tekniikkaan (Hero = 1).

(kuva 1). Ajassa, jonka hitaimmat tekniikat (SA ja GA) käyttivät yhteen optimointiin, olisi optimointi voitu toistaa 200 kertaa nopeimmalla tekniikalla (Herolla).

Tutkimuksen mukaan optimointitekniikan käytämällä hakustrategialla on merkitystä. Kun muut tässä tutkimuksessa testatut optimointitekniikat kuin GA tarkastelevat yhden siirron aikana yhdellä kuvilla tapahtuvan käsittelyvaihtoehdon aiheuttamaa muutosta tavoiteyhtälön arvoon, vaihdetaan GA:ssa samanaikaisesti usean kuvion käsittelyvaihtoehtoja mm. yhdistelemällä palasia eri suunnitelmista. Tämä näyttää olevan hyödyllistä erityisesti spatiaalisissa suunnitteluongelmissa.

■ Prof. Timo Pukkala, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMT Mikko Kurttila, Metla, Joensuun tutkimuskeskus. Sähköposti timo.pukkala@joensuu.fi

Miina Rautiainen, Pauline Stenberg ja Tiit Nilson

Männiköiden latvuspeiton arvioimisesta

Seloste artikkelista: Rautiainen, M., Stenberg, P. & Nilson, T. 2005. Estimating canopy cover in Scots pine stands. *Silva Fennica* 39(1): 137–142.

Metsän latvuspeittoa hyödynnetään nykyään hyvin monipuolisesti eri tarkoituksiin, kuten globaaliin metsäpinta-alan seurantaan tai pienemässä mittakaavassa metsän rakenteen kuvaajana esimerkiksi kaukokartoitusaineistojen tulkinnessa. Erityisesti YK:n alainen elintarvike- ja maatalousjärjestö (FAO) määrittelee metsän latvuspeiton avulla: metsä on maata, jolla latvuspeitto on yli 10 %, puiden pituus yli 5 metriä ja joka peittää yli puolen hehtaarin alueen. Tässä määritelmässä ei kuitenkaan kerrota, mitä latvuspeitolla oikeastaan tarkoitetaan. Otetaanko siinä huomioon vain latvusten väliset aukot vai vaikuttavatko kenties myös latvusten sisäiset aukot latvuspeittoa pienentävästi? Entä

mikä on tällöin latvuspeitto sellaiselle metsikölle, jossa puilla on lehtiä tai neulasia vain harvaan ulko-reunalla, mutta latvuksen sisäosa koostuu ruskeista oksista? Se, miten latvuspeitto määritellään tai mitataan, vaikuttaa luonnollisesti saatuihin tuloksiin ja mahdollisesti joissakin maissa esimerkiksi myös metsätalastoihin.

Omana erityisenä kiinnostuksen kohteena on havumetsien spektraalisen signaalin ymmärtäminen ja tämän tiedon soveltaminen optisten satelliittikuvien tulkintamenetelmien kehittämiseen. Meille latvuspeitto kertoo mm. sen kuinka suuri osa satelliitin keilaimen mittaamasta heijastussignaalista tulee aluskasvillisuudesta ja kuinka suuri osa puustosta. Tietoa latvuspeitosta tarvitaan myös useisiin ekologisiin tutkimuksiin, joissa arvioidaan metsän pohjan varjoalaa tai mallitetaan latvuston säteily- ja tuotosoloja.

Tutkimuksemme tarkoituksena oli käyttää kahta menetelmää, Cajanuksen putkea ja LAI-2000-laitetta, männiköiden latvuspeiton mittaamisessa, arvioida niiden käyttökelpoisuutta ja tarvittavien mittauspisteiden lukumäärää. Lisäksi halusimme selvittää, kuinka suuri osa aukoista on puun latvuksen sisäisiä eli kuinka merkittävä rooli näillä usein huomioimatta jäävillä aukoilla on. Tutkimuksemme mitattiin yksityiskohtaisesti seitsemän puolukka- ja kanervatyypin männikön latvuspeittoa Metsätutkimuslaitoksen Suomenjoen tutkimusaseman läheisyydessä. Puusto kunkin kuvion sisällä edusti samaa kokoluokkaa niin, että nuorimmassa männikössä keskirinnankorkeusläpimitta oli 12 cm ja tiheys 1 830 runkoa hehtaarilla, ja vanhimmassa läpimitta oli 30 cm ja runkoluku 470. Mittauksia varten perustettiin kunkin kuvion keskelle 500 pisteen mitaushila, jossa oli viisi linjaa, kukin 99 metriä pitkä. Kullakin linjalla oli 100 mittauspistettä (metrin välein) ja linjojen etäisyys toisistaan oli viisi metriä. Molemmilla laitteilla mitattiin jokaisessa mitaushilan pisteessä.

Tutkimusmänniköiden latvuspeitto vaihteli välillä 43–61 %, ja yksittäisen latvuksen aukkoisuus välillä 4–19 %. Lisäksi mittauslaitosten analysointi osoitti, että näillä mittauslaitteilla noin 250 mittauspistettä per kuvio tarvittiin ennen kuin metsikölle saadun latvuspeiton arvo vakiintui. Tulosten perusteella voidaan siis päätellä, että luotettavan latvuspeittoestimaatin saaminen vaatii hyvin yksityiskohtaisia ja

aikaa vieviä mittauksia, erityisesti kun kehitetään malleja, joilla latvuspeitto ennustetaan puustotunnuksista. Lisäksi toteamme, että latvusten sisäisten aukkojen osuus voi olla suuri, joten myös nämä tulisi huomioida latvuspeiton ennustemalleissa, varsinkin jos tiedon myöhempanä sovelluskohteena on kaukokartoitusaineisto.

■ FM Miina Rautiainen, MMT Pauline Stenberg, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos; prof. Tiit Nilson, Tarton observatorio, Viro
Sähköposti miina.rautiainen@helsinki.fi

Seppo Rouvinen, Anne Rautiainen ja Jari Kouki

Metsien käytön historian ja tämänhetkisen kuolleen puuston suhde suomalaisessa vanhassa suojellussa borealisessa metsässä

Seloste artikkelista: Rouvinen, S., Rautiainen, A. & Kouki, J. 2005. A relation between historical forest use and current dead woody material in a boreal protected old-growth forest in Finland. *Silva Fennica* 39(1): 21–36.

Metsän puustoon kohdistuneen ihmisen toiminnan vaikutuksen suuruuden ja merkityksen arviointi on tärkeää suunniteltaessa suojelualueita, sillä ihmistoiminta on vaikuttanut tavalla tai toisella kaikkiin metsiin. Metsien luonnontilaisuutta voidaan arvioida mm. historiallisten asiakirjojen ja puuston nykyisen rakenteen perusteella.

Tutkimme pienen mittakaavan vaihtelua tämänhetkisessä kuolleessa puustossa ja sen suhdetta metsien käytön historiaan vanhassa borealisessa metsässä Itä-Suomessa. Tutkittu MT-tyyppin sekametsä sijaitsi Ilomantsin Pönttövaarassa, eteläisen ja keskisen borealisen kasvillisuusvyöhykkeen rajalla. Viimeinen palo oli polttanut metsää vuonna 1824, mutta se ei ollut tuhonnut koko puustoa; alueella oli

runsaasti palosta selvinneitä mäntyjä.

Kaikki kannot (läpimitta ≥ 5 cm, pituus < 1.3 m) kartoitettiin $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$:n ruuduissa yli 30 ha:n alalta vuonna 1999. Jokaisesta kannosta mitattiin läpimitta ja pituus sekä määritettiin synty tapa (ihmisen tekemä, luontainen tai tunnistamaton), puulaji, lahoaste ja ”paloluokka” (palanut tai ei-palanut). Kuolleet pysty- ja maapuut mitattiin rungoittain neljältä pitkältä transektilta $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$:n ruuduissa. Pystypuuston määrä arvioitiin jokaiselta $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$:n ruudulta yhden relaskoopikoealan avulla.

Keskimäärin kantoja oli 130 kpl hehtaarilla ja kantojen määrän vaihtelu oli suurta mitattujen ruutujen välillä. Kannoista luokiteltiin ihmisen tekemiksi 61 %, luontaisesti syntyneiksi 23 % ja tunnistamattomiksi alkuperää oleviksi 16 %. Vaikka ihmisen tekemiä kantoja oli paljon, historiallisten asiakirjojen mukaan alueella ei ole ollut hakkuita dokumentoidulta ajalta, eli 1910-luvulta alkaen. Osa suuremmista ihmisen tekemistä kannoista lienee ajalta ennen hakkuiden dokumentointia, mutta suurin osa niistä on paljon myöhäisempää alkuperää. Kantojen tilajärjestys ei ollut ryhmittynyt, kun koko kantoaineisto analysoitiin. Ihmisen tekemät kannot sensijaan olivat ryhmissä ja monet kantoryhmistä sijaitsivat lähellä aluetta halkovia teitä. Tämä tukee sitä suullista tietoa, jonka mukaan alueelta on saatettu hakata vähäisiä määriä puita 1960- tai 1970-luvulla. Tuolloin lähialueella tehtiin suurialaisia avohakkuita ja mahdollisesti nuo kaupat jäivät ”auki”, jolloin tarvittiin puita myös tutkimusalueeltamme.

Kuollutta puuta oli keskimäärin $84 \text{ m}^3/\text{ha}$ (vaihteluväli $37\text{--}146 \text{ m}^3/\text{ha}$), josta pystypuiden osuus oli 42 % ja maapuiden 58 %. Tilajärjestysanalyysi ei osoittanut kuolleen puuston ryhmittäisyyttä maa-, pysty- eikä koko kuolleen puuston aineistossa. Ihmisen tekemien kantojen pohjapinta-alan ja kuolleen puuston tilavuuden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta.

Tutkimusalueella oli taskutuksen seurauksena kuolleita haapoja keskimäärin $4,3 \text{ m}^3/\text{ha}$. Kaikkiin kuollutta haapaa oli keskimäärin $7,1 \text{ m}^3/\text{ha}$, joten taskutuksella on ollut huomattava merkitys haapalahopuun määrään. Asiakirjojen mukaan haapojen taskutukset oli tehty vuonna 1977.

Elävää puustoa alueella oli keskimäärin $217 \text{ m}^3/\text{ha}$ (vaihteluväli $126\text{--}324 \text{ m}^3/\text{ha}$). Elävän ja kuolleen puuston määrän välillä ei havaittu tilastollisesti mer-

kitsevää riippuvuutta. Sen sijaan ihmisen tekemien kantojen pohjapinta-alan ja elävän puuston tilavuuden välillä oli merkitsevä negatiivinen korrelaatio.

Suojellulla vanhan metsän alueella luonnontilaisuuden aste vaihteli käytännöllisesti katsoen kirveenkoskemattomasta metsästä melko voimakkaasti käsiteltyyn metsään. Kuitenkin näyttää siltä, että metsien käsittely vuosikymmeniä sitten ei ole merkittävästi alentanut alueen nykyistä suojellusta arvoa: esim. lahoppuuta on runsaasti ja alueelta on tavattu monia harvinaisia ja uhanalaisia metsälajeja. Tulokset osoittavat, että ihmisen tekemien kantojen avulla voidaan kohtuullisen nopeasti ja helposti arvioida metsän puuston luonnontilaisuuden astetta. On kuitenkin muistettava, että kantojen lahoamisen johdosta niistä voidaan päätellä vain melko lyhyt aika metsien käyttöhistoriasta. Tällöin puuston muut tunnukset ja historialliset asiakirjat voivat – puutteistaan huolimatta – antaa apua metsien käyttöhistorian selvityksessä.

■ MMT Seppo Rouvinen, MMM Anne Rautiainen, prof. Jari Kouki, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti seppo.rouvinen@joensuu.fi

Timo Saksa, Juha Heiskanen, Jari Miina, Jaakko Tuomola ja Taneli Kolström

Pituuskasvun mallitus nuoris- sa kuusentaimikoissa Etelä- Suomessa

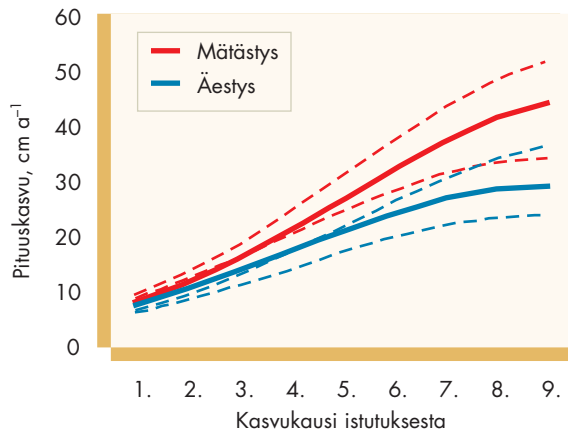
Seloste artikkelista: Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1): 143–153.

Pienet, yksi-kaksivuotiaat paakkutaimet ovat syrjäyttäneet lähes kokonaan kooltaan suuremmat avojuuritaimet kuusen viljelyssä. Viime vuosina mätästystä on käytetty yhä enemmän viljavilla kuusen viljelyaloilla Etelä-Suomessa. Mätästys pienentää äestystä tehokkaammin pintakasvillisuuden aiheut-

tamaa kilpailua. Lisäksi mätästysaloilla mm. maan lämpötila kohoaa enemmän ja ravinteet vapautuvat nopeammin kuin äestysaloilla. Paakkutaimien kehitystä mätästysaloilla ei ole juurikaan tutkittu, mutta käytännön mätästysaloilla kuusen paakkutaimien ei ole havaittu jurovan samalla tavalla kuin avojuuritaimien muokkaamattomilla tai kevyesti muokatuilla aloilla. Tässä tutkimuksessa selvitettiin lineaaristen sekamallien soveltuvuutta kuusen paakkutaimien pituuskehityksen kuvaamiseen. Erityisesti pyrittiin selvittämään mitkä sää- ja maaperätekijät vaikuttavat taimien vuotuisen pituuskasvuun äestys- ja mätästysaloilla.

Tutkimuksessa mitattiin kuusen istutustaimien pituuskasvuja 14 äestysalalta ja 8 mätästysalalta alkusyksyllä 2001. Taimikot edustivat mustikkatyyppin kasvupaikkoja ja ne oli istutettu paakkutaimilla keväällä 1993, 1994, 1997 tai 1998. Taimikot olivat siten 4–9-vuotiaita mittaushetkellä. Jokaiseen taimikkoon (0,5–19,2 ha) sijoitettiin systemaattisesti 12 ympyräkoelaa kolmen koelalan muodostamiin rypäisiin (neljä ryvästä/uudistusala). Ympyräkoelaloilta (50 m²) määritettiin terveet kuusen istutustaimet (keskimäärin 4,5 tainta/koelaa), joista mitattiin pituus ja mennyt pituuskasvu niin monelta vuodelta taaksepäin kuin mahdollista (maksimi 5 pituuskasvu/taimi). Jokaisen koelarypään keskipisteen läheltä muokkaamattomasta kohdasta mitattiin humuskerroksen ja huuhtoutumiskerroksen paksuus, mineraalimaan tunkeumavastus sekä maaperän vesipitoisuus, sähkönjohtavuus ja lämpötila. Laboratoriossa määritettiin mineraalimaanäytteen hienoaineksen (<0,06 mm) sekä orgaanisen aineksen osuus. Säätekijöiden aiheuttamaa kasvun vaihtelua vuosina 1997–2001 selitettiin vuotuisilla kesäkuukausien sadesummilla ja keskilämpötiloilla, jotka laskettiin kahden lähimmän sääaseman mittauksista.

Lineaarisilla sekamalleilla tarkasteltiin pituuskasvun vaihtelua eri hierarkiatasoilla (vuosi, uudistusala, ryväs, koelaa, taimi) sekä selvitettiin mitattujen sää- ja maaperätekijöiden vaikutusta taimien pituuskasvuun. Lämpimät ja sateiset kesät lisäsivät taimien pituuskasvuja sekä äestys- että mätästysaloilla. Muokkaamattomasta maasta määritetyt maaperätekijät eivät selittäneet taimien pituuskasvuja mätästetyillä aloilla. Sitä vastoin äestysaloilla humuskerroksen paksuudella ja maaperän lämpötilalla oli positiivinen ja huuhtoutumiskerroksen paksuudella negatiiv-



Kuva 1. Aineistosta laaditulla mallilla ennustettu istutuskuusien pituuskasvu (cm a^{-1}) mätästys- ja äestysaloilla. Katkoviivat kuvaavat uudistusalojen välistä vaihtelua mallilla lasketun ennusteen ympärillä (ts. mallin kiinteä osa \pm taimikoiden välinen hajonta).

tiivinen vaikutus pituuskasvuun. Laadittujen mallien mukaan kuusentaimien pituuskasvu oli nopeampaa mätästysaloilla kuin äestysaloilla: viiden vuoden ikäisessä taimikossa vuotuinen pituuskasvuero oli 5 cm mätästysalojen hyväksi (kuva 1).

Saadut tulokset maanmuokkausmenetelmän vaikutuksesta kuusentaimien pituuskasvuun ovat alustavia. Koska jokainen uudistusala oli joko äestetty tai mätästetty, on mahdollista että kasvupaikan hyvyys on vaikuttanut muokkausmenetelmän valin-

taan. Toisaalta määritetyissä maaperätekijöissä ei kuitenkaan havaittu muokkaustapojen välisiä eroja huuhtoutumiskerroksen paksuutta lukuun ottamatta. Lineaaristen sekamallien avulla voitiin tutkia sää- ja maaperätekijöiden vaikutusta pituuskasvuun eri muokkausaloilla niin, että satunnainen pituuskasvun vaihtelu jaettiin aineiston eri hierarkiatasolle. Suurin osa selittämättömästä pituuskasvun vaihtelusta oli puiden sisäistä vaihtelua: yksittäisten puiden pituuskasvu ei noudattanut tarkasti aineistoon mallitettua keskimääräistä pituuskasvutrendiä (kuva 1), vaan kasvu vaihteli vuodesta toiseen monien – tässä työssä huomioon ottamatta jääneiden – vaikeasti mitattavien ja mallitettavien tekijöiden vaikutuksesta. Mätästys lisäsi keskimääräistä pituuskasvua, mutta samalla myös taimien väliset kasvuerot lisääntyivät uudistusalalla. Tämä todennäköisimmin johtui istutuskohtien kasvuolosuhteiden suuremmasta vaihtelusta mätästysalalla kuin äestysalalla (mättäät vs. äestysjälki). Tämän tuloksen varmentamiseksi olisi käytettävä tilastollisen testauksen mahdollistavaa koejärjestelyä ja tehtävä toistettuja maaperämittauksia istutuskohdista. Sinänsä lineaariset sekamallit osoittautuivat käyttökelpoisiksi tämän tutkimuksen kaltaisten inventointiaineistojen analysoinnissa.

■ MMTTimo Saksa, MMT Juha Heiskanen, Metla, Suonenjoen tutkimusasema; MMT Jari Miina, Metla, Joensuun tutkimuskeskus; MMM Jaakko Tuomola, prof. Taneli Kolström, Joensuun yliopisto, Mekrijärven tutkimusasema. Sähköposti timo.saksa@metla.fi