

Juha Heiskanen, Timo Saksa ja  
Jaana Luoranen

## Maanmuokkausmenetelmän vaikutus kuusen paakkutaimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen roustealttiilla moreenimaalla

Seloste artikkelista: Juha Heiskanen, Timo Saksa & Jaana Luoranen. 2013. Soil preparation method affects out-planting success of Norway spruce container seedlings on till soils susceptible to frost heave. *Silva Fennica* 47, article id 893.  
<http://www.silvafennica.fi/pdf/article893.pdf>

Mätästykseen käyttöönotto kuusenistutuksen yhteydessä on parantanut taimien alkukehitystä. Mätästykseen vaikutuksesta maan lämpötila on kohonnut, typen saatavuus on parantunut mättään kaksinkertaisesta humuskerroksesta ja tukkimiehentäin (*Hylobius abietis* L.) aiheuttamat tuhot ovat vähentyneet. Kaikkia mätästykseen vaikutuksia taimikon alkukehitykseen ei kuitenkaan tunneta. Viimeaikaisista inventoinneista käy ilmi, että kuusentaimien eloonjääminen ja kasvu hienojakoisilla mailla eivät ole yhtä hyviä kuin karkeammilla mailla mätästyksestä huolimatta. Syitä tähän voi olla useita. Hienojakoinen maa voi aiheuttaa rousetuhoja. Lisäksi varsinkin aiemmin käytetyt korkeat mättäät voivat viivästyttää taimien alkukehitystä johtuen pidemmästä juurtumismatkasta typpipitoiseen humuskerrokseen sekä mahdollisesta kevätahavasta. Tiivis hienojakoinen maa voi hidastaa taimien juurtumista muutenkin. Pintakasvillisuus voi viljavilla hienojakoisilla mailla edelleen hidastaa taimikon alkukehitystä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eri mätästyskäsittelyiden vaikutusta 2-vuotiaiden kuusen paakkutaimien istutuksen jälkeiseen menestymiseen rousteelle alttiilla moreenimaalla. Tutkimuksessa testattiin laikku- (kuva 1) ja naveromätästystä (kuva 2) eri mätäskorkeuksilla, kääntömätästystä (paikalleen käännetty mätäs) ja muokkaamaton-ta käsittelyä glyfosaatilla ruiskutettuna tai ilman kahdella eri uudistusosalalla Keski-Suomessa. Maan hienoainesosuus (<0.06 mm) oli molemmilla aloilla hieman yli 30% ja saven osuus (<0,002 mm) alle 3%. Hypoteesina oli, että ohut mineraalimaan kerros mättään päällä tai ylipäätään matala mätäs voi tarjota nopeamman alkukehityksen taimien juurille ja siten taimikon vakiintumiselle. Lisäksi pintakasvillisuuden kontrollointi glyfosaatilla voi rajoittaa pintakasvillisuuden kilpailua tehokkaammin kuin mätästys.

Muokkaus-käsittelyt järjestettiin soveltaen split-plot -koeasettelua. Suonenjoella taimet istutettiin keväällä 2007 ja Pieksämäellä keväällä 2009. Molemmilla avohakatuilla uudistusaloilla oli neljä lohkoa, joista jokaisessa oli yksi koeala jokaista muokauskäsittelyä varten (pääkäsittely). Osalla koealoja oli mukana myös muokkaamattomat istutuskohdat. Istutustaimia seurattiin neljä (Suonenjoki) tai kolme kasvukautta (Pieksämäki).

Tulosten mukaan maan lämpötila oli korkeampi ja vesipitoisuus alempi erityisesti korkeimmilla mättäillä kuin lähempänä maanpintaa. Mättäiden keskikorkeudet kuitenkin alenivat neljän vuoden tutkimusjakson aikana.

Taimikuolleisuus oli korkeampi ja elinvoimaisten taimien osuus alempi muokkaamattomissa istutuskohdissa johtuen pääasiassa suuremmista tukkimiehentäin tuhoista. Rousetuhoja esiintyi lähinnä vain navero- ja kääntömättäissä. Muokkaamattomien istutuskohdienten glyfosaattikäsittely toisena kasvukautena ei osoittanut kasvuhuötyä verrattuna muokkaamattomiin kohtiin ilman glyfosaattikäsittelyä kahden seuraavan kasvukauden aikana.



**Kuva 1.** Naveromättäitä Suonenjoen koealueella 2007. Kuva: Metla/Juha Heiskanen

Taimien kasvu oli samalla tasolla tai hieman alempi kuin mitä on aiemmin havaittu hienojakoisilla metsämailla Etelä-Suomessa sekä lähistön samantyyppisillä, mutta maa-ainekseltaan karkeammilla kasvupaikoilla. Taimituhot ja kasvuolot heijastuivat taimien pituuskasvuun, joka oli keskimäärin parempi laikku- ja naveromättäissä kuin kääntömätetyissä tai muokkaamattomissa istutuskohdissa kolmannen kasvukauden jälkeen.

Mineraalimaan paksuus mättään päällä tai mättään korkeus eivät kuitenkaan vaikuttaneet merkittävästi taimien kasvuun. Tämä voi viitata siihen, että verrattuna karkeampijakoisiin maihin, hyväkään maanmuokkaus ei voi täysin poistaa tiiviin, hienojakoisen maan heikentävää vaikutusta taimien kasvuun. Vielä hienommilla, lajittuneilla hiesumailla sekä savimaille muokkauksen vaikutus kuitenkin voi olla jo toisenlainen, mistä tarvitaan jatkotutkimusta.



**Kuva 2.** Istutettuja laikumättäitä Pieksämäen koealueella 2009. Kuva: Metla/Pekka Voipio

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että laikku- ja naveromätätystys ovat suositeltavia maanmuokkaustapoja roustuvilla uudistusaloilla. Liian korkeiden mättäiden kaivuuta liian syvältä maasta ei kuitenkaan voi suositella rousteriskin vuoksi. Myöskään kääntömätätystys tai maan jättäminen ilman muokkausta (glyfosaattikäsitteilyllä tai ilman) ei ole suositeltavaa roustuvilla (tai märillä) mailla.

■ MMT Juha Heiskanen, MMT Timo Saksa, MMT Jaana Luoranen, Metla, Suonenjoki  
Sähköposti juha.heiskanen@metla.fi, timo.saksa@metla.fi, jaana.luoranen@metla.fi

Anna Saarsalmi, Pekka Tamminen ja  
Mikko Kukkola

## Pitkäaikaisen lannoituksen vaikutus maan ominaisuuksiin männiköissä ja kuusikoissa

Seloste artikkelista: Anna Saarsalmi, Pekka Tamminen & Mikko Kukkola: Effects of long-term fertilisation on soil properties in Scots pine and Norway spruce stands. *Silva Fennica* 48(1), article id 989.  
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.989>

**K**angasmetsien lannoitustutkimus aloitettiin Metsäntutkimuslaitoksessa 1950-luvun jälkipuoliskolla professori P.J. Viron suunnitteleman

koesarjan avulla. Tavoitteena oli selvittää tärkeimpien pääravinteiden typen (N), fosforin (P), kalsiumin (Ca) ja kaliumin (K) yksittäis- ja yhdysvaikutuksia erilaisilla kasvupaikoilla eri puolilla Suomea. Kokeet, joita oli enimmillään noin 200 kpl, oli alun perin tarkoitettu kertalannoituksella saatavan kasvunlisäyksen selvittämiseksi. Kuitenkin jo 1960-luvun alkuvuosina oli herännyt ajatus lannoituskäsittelyn toistamisesta, mikä typen osalta sitten toteutettiin 4–10 vuoden välein. Myös fosforilannoitus, kaliumlannoitus ja kalkitus päätettiin toistaa, joskin harvemmin kuin typpilannoitus. Koesarjaa on hyödynnetty laadittaessa kangasmaiden lannoitusuusituksia ja 1980-luvulta lähtien arvioitaessa rikki- ja typpilaskeumien vaikutuksia metsämaahan ja happaman laskeuman haitallisten vaikutusten torjumista kalkituksella.

**Taulukko 1.** Kokeiden kasvupaikka- ja puustotunnuksia sekä annetun typen, fosforin ja kalkin määrät.

Koe	Leveys °N	Pituus °E	Lämpösumma d.d. (>5°C)	Puu- laji	Aloitettu vuonna	Ikä v. 2009	SI <sup>a</sup> , m	Tuotos <sup>a</sup> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup>	N, kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup>	P, kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup>	Kalkkia, kg <sup>ha</sup> <sup>-1</sup>
25	61.817	29.329	1239	Mänty	1958	84	27,9	7,4	1676	149	6000
33	61.875	29.343	1234	Mänty	1958	70	29,3	5,9	1908	120	6000
35	62.409	28.707	1168	Kuusi	1958	77	18,3	8,3	714	144	6000
36	62.409	28.710	1168	Kuusi	1958	77	19,9	8,5	714	144	6000
37	61.415	28.545	1240	Mänty	1958	75	20,0	7,4	714	109	6000
38	61.416	28.542	1233	Mänty	1958	75	21,5	8,2	714	109	6000
52	62.024	24.811	1154	Mänty	1959	58	25,9	8,1	1496	149	6000
55	61.662	29.304	1170	Mänty	1959	65	26,1	9,8	534	69	6000
56	62.927	25.607	1025	Mänty	1959	76	22,8	4,5	1496	149	6000
57	62.935	25.678	1020	Kuusi	1959	77	19,4	5,9	1496	149	6000
58	62.935	25.677	1024	Kuusi	1959	77	21,5	6,9	1496	149	6000
60	62.930	25.666	1020	Kuusi	1959	77	23,0	7,7	1136	109	6000
64	61.493	29.066	1215	Mänty	1959	90	22,0	5,3	714	109	6000
67	61.537	29.062	1160	Mänty	1959	70	21,1	9,3	714	109	6000
68	61.956	27.575	1147	Mänty	1959	84	21,5	7,6	1404	149	6000
73	62.759	24.747	1034	Mänty	1959	55	25,9	8,0	1254	160	6000
75	62.913	24.571	1028	Mänty	1959	54	25,3	4,9	742	109	6000
76	62.912	24.570	1028	Mänty	1959	54	26,3	5,2	742	109	6000
77	62.911	24.568	1028	Mänty	1959	54	23,3	4,1	742	109	6000
82	63.300	25.340	999	Mänty	1959	54	17,6	3,7	965	193	6000
97	62.574	24.119	1074	Mänty	1960	61	24,8	8,5	742	193	6000
98	62.579	24.125	1074	Mänty	1959	60	24,5	6,9	1356	69	6000
103	63.215	24.624	1006	Mänty	1960	58	22,2	4,2	742	109	6000
106	63.389	24.300	1013	Mänty	1960	73	15,0	3,0	1136	120	6000
107	63.095	24.294	1013	Mänty	1960	63	18,0	2,6	742	153	6000
113	61.172	26.050	1251	Kuusi	1961	58	28,4	12,8	1486	193	6000
135	67.250	23.869	791	Mänty	1961	87	17,6	4,6	1194	120	6000
155	61.169	26.048	1250	Kuusi	1962	59	28,2	13,4	1074	160	6000
157	61.111	26.026	1229	Mänty	1962	62	24,2	7,1	1317	160	5000
194	66.855	27.133	754	Kuusi	1964	74	19,5	1,5	1110	160	6000

<sup>a</sup> SI on H100 ja Tuotos on keskimääräinen tilavuuskasvu koealoilla, joita ei ole lannoitettu typpellä (4 koealaa/koe).

**Taulukko 2.** Hiilen, typen, kalsiumin ja fosforin määrät, C/N suhde ja pH humuskerroksessa ja 0–10 cm kivennäis- maakerroksessa. Mahdollisia kovariaatteja sekamallianalyyssissä olivat: lämpösomma, puulaji (0/1) ja humuskerroksen paksuus lannoittamattomilla koealoilla. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan.

Muuttuja <sup>b</sup>	0	N	P	L	Käsittely <sup>a</sup> NP	NL	PL	NPL	F-arvo <sup>c</sup>
<i>Humuskerros</i>									
C <sub>t</sub> , Mg ha <sup>-1</sup>	16,8b	22,8a	17,5b	16,0b	22,5a	21,0a	16,4b	20,5a	25,2
N <sub>t</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	488b	778a	496b	468b	764a	741a	485b	734a	58,9
C/N	35,7a	29,6b	38,1a	35,2a	29,8b	28,7b	34,9a	28,4b	66,7
Ca <sub>t</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	112d	150cd	177cd	373b	221c	488a	485a	545a	64,9
P <sub>t</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	30,5e	38,2cd	38,8cd	31,7e	46,1ab	36,8d	42,2bc	49,8a	35,6
pH <sub>CaCl2</sub>	3,22d	3,21d	3,38bc	4,06a	3,35cd	4,07a	4,19a	4,18a	191
<i>Kivennäismaa 0–10 cm</i>									
C <sub>t</sub> , Mg ha <sup>-1</sup>	20,8bc	24,3ab	20,3c	22,6abc	23,7ab	22,7abc	22,6abc	24,5a	5,28
N <sub>t</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	842d	998a	822d	883bcd	961abc	977ab	860c	1023a	9,38
C/N	25,9ab	24,6bc	25,1abc	26,1ab	24,8bc	23,7c	27,0a	24,4bc	5,51
pH <sub>CaCl2</sub>	3,99b	3,80b	3,92b	4,68a	3,81b	4,37a	4,71a	4,55a	74,1
<i>Humuskerros+kivennäismaa 0–10 cm</i>									
Ca <sub>AAA</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	127d	162d	214d	771bc	233d	693c	862ab	870a	88,8
P <sub>AAA</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	16,4cd	16,1cd	21,2a	14,0de	21,5a	13,2e	19,4ab	18,5bc	33,3

<sup>a</sup> 0 = lannoittamaton, N = typpilannoitus, P = fosforilannoitus, L = kalkitus.

<sup>b</sup> AAA = happamaan ammoniumasettaattiin uuttuva, t = kokonaispitoisuus (tuhkistus + HCl-uutto)

<sup>c</sup> F-arvo sekamallianalyyssistä. Jos  $F_{7,200} > 3.64$ , silloin  $p < 0.001$

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin pitkäaikaisen lannoituksen vaikutusta maan happamuuteen ja ravinnetilaa (N, P, K, Ca) 30 lannoituskokeella 45–52 vuoden jälkeen kokeiden perustamisesta (Taulukko 1). Tutkimuksen tarkoituksena oli myös selvittää, kuinka maan happamuuden ja ravinteisuuden muutokset riippuivat annetuista lannoitemääristä sekä kasvupaikka- ja metsikkötunnuksista.

Metsikoista 22 oli männiköitä ja 8 kuusikoita. Kokeet oli perustettu 5–30-vuotiaisiin metsiköihin. Käsittelyt olivat: lannoittamaton, N, P, Ca, NP, NCA, PCa ja NPCA. Kokeiden perustamisvaiheessa tyyppi annettiin pääsääntöisesti ammoniumsulfaattina, fosfori hienofosfaattina ja kalsium kalkkikivijauheena. Alkuvaiheessa käytetty typpiannos (82 kg N/ha) osoittautui liian pieneksi, minkä vuoksi uusintalannoituksissa käytetty typpimäärä kasvoi ajan mittaan. 1970-luvun lopulla lannoituskäsittelyt määriteltiin seuraaviksi: N 180 kg/ha oulunsalpietarina (v. 1997 lähtien suomensalpietarina). Vuodesta 1983 Pohjois-Suomen kokeilla on kuitenkin käytetty typpiannoksena 120 kg/ha. Yhteensä tyypeä on annettu tutkimusjakson aikana kokeesta riippuen 534–1908 kiloa hehtaarille ja fosforia pääasiassa superfos-

faattina 69–193 kiloa hehtaarille. Kokeet kalkittiin perustamisvaiheessa (2000 kalkkikivijauhetta kiloa hehtaarille) ja uudelleen noin 20 vuoden kuluttua kokeiden perustamisesta (4000 kiloa hehtaarille).

Kokeilta otettiin maanäytteet tutkimusjakson lopussa. Humuskerroksesta otettiin koealoittain 25 osanäytteestä koostuva kokoomanäyte sylinterillä, jonka läpimitta oli 60 mm. Näytepisteistä mitattiin humuskerroksen paksuus. Kivennäismaanäytteet otettiin 0–10 cm:n kerroksesta 5 näytepisteestä tilavuussyylinterillä, jonka läpimitta oli 39 mm tai lapiolla kivisyydestä riippuen. Humusnäytepisteistä arvioitiin kivisyys 30 cm:n pintakerroksesta painamismenettelmällä. Maanäytteet kuivattiin (40 °C). Humusnäytteet jauhettiin hienoksi myllyllä, jossa oli 2 mm:n pohjaseula ja kivennäismaanäytteet seulottiin 2 mm:n seulalla ennen analyysijä. Näyteistä määritettiin kokonaistyyppi ja kokonaishiili (N<sub>t</sub> ja C<sub>t</sub>) LECO CHN 1000-laitteella. pH mitattiin maa–CaCl<sub>2</sub>-suspenssiosta. Näyteistä määritettiin happamaan ammoniumasettaattiin (pH = 4,65) uutuvat Ca, K, Mg ja P ja humusnäyteistä lisäksi em. ravinteiden kokonaispitoisuudet kuivapolttoanalyysillä (tuhkistus + HCl-uutto).

Puuston keskimääräinen tuotos arvioitiin jakamalla puuston kokonaistuotos vuosien lukumäärällä lannoituksen jälkeen.

Tulokset laskettiin sekamallitekniikalla. Satunnaistekijänä oli koe, ja selittävinä tekijöinä olivat lannoituskäsittely ja mahdolliset kovariaatit tai riippumattomat muuttujat (humuskerroksen paksuus lannoittamattomilla koealoilla, puuston ikä, puulaji, lämpösumma, hienojen ( $d < 63 \mu\text{m}$ ) lajitteiden osuus ja kivisyys).

Typpilannoitus lisäsi humuskerroksen orgaanisen aineen massaa ja hiilen määrää ja samalla useimpien ravinteiden määrää humuskerroksessa (Taulukko 2). Typen määrä kasvoi pintamaassa enemmän kuin hiilen määrä, jolloin viljavuutta hyvin kuvaava C/N-suhde laski sekä humuskerroksessa että kivennäismaassa. Tämä tarkoittaa sitä, että puuntuotoskyky parani typpilannoituksen seurauksena. Aineistosta laskettujen mallien mukaan humuskerroksen C/N-suhde olisi ollut ilman typpilannoitusta 37, ja vastaavasti 32 ja 26 typpimäärillä 1000 ja 2000 kiloa hehtaarille. Typpilannoitus lisäsi maan happamuutta, mutta vain vähän. Aineistosta laskettujen mallien mukaan pitkän ajan kuluessa annettuna 2000 kilon typpimäärä hehtaarille olisi alentanut humuskerroksen pH:ta 0,1 ja kivennäismaan pH:ta 0,5 pH-yksikköä. Fosforilannoitus lisäsi paitsi fosforin määrää humuskerroksessa myös pintamaan kalsiumin määrää, koska lannoitteena käytetty superfosfaatti sisälsi 20% kalsiumia. Kalkitus lisäsi kalsiumin määrää pintamaassa, ja alensi happamuutta 0,4–1 pH-yksikköä. Toisaalta kalkitus alensi hiilen ja typen määriä humuskerroksessa.

Lannoitteista ainoastaan pitkäaikainen typpilannoitus lisäsi puuston vuotuista kasvua: männikoissä keskimäärin  $2,2 \text{ m}^3$  ja kuusikoissa  $1,8 \text{ m}^3$  hehtaarille. Kasvu lisääntyi suhteellisesti eniten karuissa metsiköissä, joiden kasvu oli pieni ilman lannoitusta.

■ FT Anna Saarsalmi, MMT Pekka Tamminen,  
MH Mikko Kukkola, Metla, Vantaa  
Sähköposti [anna.saarsalmi@metla.fi](mailto:anna.saarsalmi@metla.fi)

Karri Uotila, Timo Saksa, Juho Rantala  
ja Nuutti Kiljunen

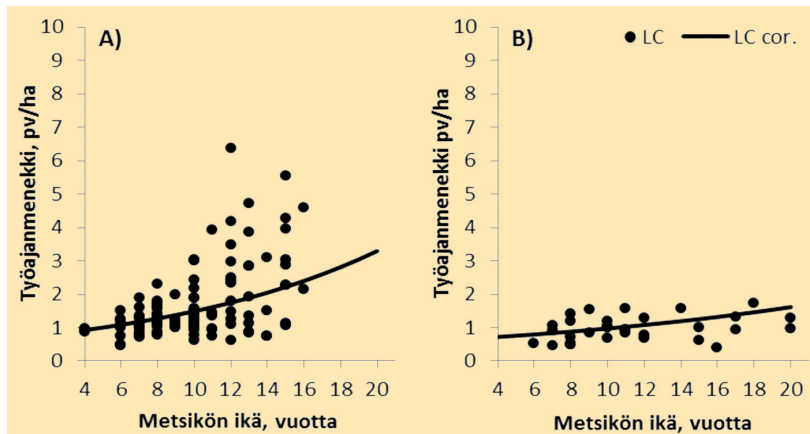
## Taimikonhoidon työajanmenekkimallit raivaussahatyön kustannusten ennakoarviointiin

Seloste artikkelista: Karri Uotila, Timo Saksa, Juho Rantala, Nuutti Kiljunen. 2014. Labour consumption models applied to motor-manual pre-commercial thinning in Finland. *Silva Fennica* 48(2), article id 982. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.982>

Taimikonhoito on erittäin tärkeä metsänhoidon toimenpide, sillä hoitamattomassa taimikossa muu metsäkasvillisuus voi viedä kasvuun tarvittavat resurssit ja kasvutilan arvokkaalta tuotantopuustolta. Taimikonhoidolla puulaji-, tila- ja pituusjakauma saatetaan taimikon kasvatuksen kannalta optimaaliseksi (ns. optimaaliseen kasvatustasentoon). Tämä tarkoittaa usein ennen kaikkea ylimääräisen lehti-puuston poistamista taimikosta. Suomessa lähes kaikki taimikonhoitotyöt tehdään nykyään metsuriryönä raivaussahalla.

Taimikonhoidon todelliset yksikkökustannukset ovat Suomessa kaksinkertaistuneet vuodesta 1990 vuoteen 2010, kun samaan aikaan taimikoiden laatu on valtakunnan metsien inventointien mukaan heikentynyt. Taimikot hoidetaan nykyisin usein liian myöhään, mikä tyypillisesti johtaa edellä mainittuun tilanteeseen. Kun metsätalouden yhtenä tärkeimpänä tavoitteena on kasvattaa Suomessa hyvälaatuista tukkipuustoa kannattavasti, niin taimikonhoidon kustannustehokkuutta tulee kehittää.

Yksi keino kustannustehokkuuden parantamiseksi on tehostaa työn hinnoittelua. Metsänomistajat haluavat mielellään tietää ennen taimikonhoitotyön ostopäätöstä palvelun hinnan. Hinnan selvittäminen etukäteen on mahdollista kohteelta poistettavan puuston määrään ja kokoon perustuvilla työajanmenekkitaulukoilla. Näiden taulukoiden hyödyntäminen edellyttää kohdekohtaista maastomittausta, joka on kallis toteuttaa. Sen sijaan metsäsuunnitelman metsikkötietoihin perustuvalla päätöstyökalulla kustannusten arviointi kuluttaisi resursseja vain



**Kuva 1.** Taimikonhoidon työajanmenekki mustikkatyyppin kuusikoissa (A) ja puolukkatyyppin männiköissä (B) metsikön iän mukaan (LC = koealojen laskennallinen työajanmenekki, LC cor. = työajanmenekkimallin estimaatti).

murto-osan erilliseen maastomittaukseen verrattuna. Jotta kustannuksia voitaisiin tarkastella metsäsuunnitteluohjelmistossa, tarvitaan mallit, joilla kustannukset voidaan arvioida metsäsuunnitelmassa jo olevien metsikkötunnusten avulla. Tällaiset mallit ovat arvokkaita myös siitä näkökulmasta, että niillä voidaan arvioida taimikonhoidon kustannuskehitystä metsikön kasvaessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli laatia taimikonhoidon ajanmenekin arviointiin ennustemallit, joiden käyttö ei edellytä erillistä maastomittauksia. Ennustemallit laadittiin männyn ja kuusen taimikoihin sekä pääpuulajiltaan lehtipuista koostuviin taimikoihin.

Tutkimuksen aineisto kerättiin vuosina 2005–2006 Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueelta. Aineisto kattoi 3290 koealaa 448 metsikkökuviolta. Kuvio-kohtainen puuston ikä oli korkeintaan 20 vuotta ja pohjapinta-alalla painotettu rinnankorkeusläpimitan keskiarvo oli alle 8 cm. Metsäkeskuksen henkilöstö mittasi aineiston kestävän metsätalouden rahoituslain mukaan rahoitettujen nuoren metsän hoitokohdeiden tarkastuksen yhteydessä. Metsät olivat yksityisessä omistuksessa ja metsissä oli äskettäin ennen mittauksia tehty taimikonhoito.

Aineisto mitattiin linjoittaisella ympyräkoelaitteella. Jokaiselta metsikkökuviolta mitattiin viisi pinta-alaltaan 50 m<sup>2</sup> kokoista pääkoealaa, joilta laskettiin tuotantopuusto ja arvioitiin metsikkötunnukset. Sen lisäksi jokaiselta pääkoealalta mitattiin 10 m<sup>2</sup> poistumakoealaa, jolta mitattiin poistuman

määrä taimikonhoidossa ja otos kantoläpimitoista. Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin aiempaa teoriaa taimikonhoidon ajanmenekin määrittelyssä. Poistumakoealojen taimikonhoidon työajanmenekki laskettiin poistuman läpimitan ja määrän mukaan. Sama menetelmä on Suomessa käytössä taimikonhoitotyön palkkataulukoiden laskennassa ja työn urakkahinnoittelussa.

Taimikonhoidon työajanmenekkiä kuvaavat lineaariset sekamallit laadittiin erikseen aiemmin hoidetuille ja hoitamattomille kuviolle. Molemmissa malleissa selitettävä muuttuja oli poistumatiedon mukaan laskettu työajanmenekki, johon tehtiin tarvittava logaritmuunnos. Malleihin sovitettuja selittäviä muuttujia olivat metsikön ikä, puulaji, metsätyyppi, uudistamismenetelmä, maanmuokkausmenetelmä ja kuvion pinta-ala. Lisäksi vastaavat mallit laadittiin aiemmin hoitamattomien kuvioiden poistumapuuston läpimitalle ja tiheydelle.

Aiemmin hoitamattomissa taimikoissa taimikonhoidon ajanmenekkiin vaikuttivat merkittävästi metsikön ikä, kasvupaikka, puulaji ja kuvion pinta-ala. Etenkin kuusikoissa taimikon ikääntyminen nosti taimikonhoidon ajanmenekkiä huomattavasti, keskimäärin 8,2 % vuodessa (kuva 1). Vastaavasti männiköissä taimikonhoidon ajanmenekki nousi vuosittain keskimäärin 5,2 % ja lehtipuilla uudistetuissa taimikoissa 3,3 %. Taimikonhoidon ajanmenekin nousu metsikön iän myötä johtui ennen kaikkea puuston järeytymisestä, sillä metsikön ikä ei juuri vaikuttanut

poistuman tiheyteen. Eri kasvupaikkojen välillä vähiten aikaa taimikonhoitoon kului puolukkatyyppillä, joka oli tutkimusaineiston karuin kasvupaikka. Mustikkatyyppillä ajanmenekki oli keskimäärin 66 % ja käenkaali-mustikkatyyppillä 114 % puolukkatyyppiä suurempi. Viljavalla kasvupaikalla sekä poistuman tiheys että järeys olivat suurempia karumpiin kasvupaikkoihin verrattuna. Maanmuokkausmenetelmien välillä taimikonhoidon ajanmenekissä ei ollut suurta eroa, mutta tiheimmän poistuman takia muokatuilla kohteilla taimikonhoidon ajanmenekki oli muokkaamattomia suurempi. Lisäksi suuremmat kuviot olivat pinta-alayksikköä kohden hitaampia hoitaa kuin pienemmät. Oletettavasti viereisten kuvioiden reunavaikutus oli tekijä, joka alensi pienillä kuviolla sekä poistuman järeyttä että tiheyttä. Mallin sopivuutta testattiin vertailemalla lopullisen mallin variansseja malliin, joka sisälsi ainoastaan satunnaisvaikutukset. Kiinteät tekijät selittivät 47,6 % taimikkotason varianssista.

Aiemmin hoidetuissa taimikoissa ainoastaan metsikön ikä selitti taimikonhoidon ajanmenekkiä, mutta senkin vaikutus oli vähäinen. Toisaalta kertaalleen hoidettujen taimikoiden taimikonhoidon ajanmenekki oli huomattavasti aiemmin hoitamattomia alempi. Esimerkiksi hoidetussa 15-vuotiaassa lehtomaisen kankaan kuusentaimikossa ajanmenekki oli keskimäärin 1,3 työpäivää hehtaarilta, kun se vastaavassa hoitamattomassa taimikossa oli 2,8 työpäivää. Mallissa kiinteä tekijä, eli metsikön ikä, selitti vain 6,7 % taimikkotason varianssista.

Mallit auttavat erottelemaan taimikoita työajamenekin mukaan metsikkötunnusten perusteella. Näin ollen malleja voidaan hyödyntää metsänhoidon päätöksenteossa ja jopa tietynlaisten taimikkotyömaiden hinnoittelussa. Hinnoittelussa mallit ovat avuksi erityisesti pienialaisilla työmailla, joissa tarkemman ennakkohinnan määrittelyn kustannukset olisivat suhteettoman korkeat itse taimikonhoitotyön toteutukseen verrattuna. Koska hoidettavat taimikot ovat Suomessa keskimäärin pieniä, noin 1,6 ha, on mallien avulla tehtävälle hinnoittelulle suotuisten kohteiden lukumäärä suuri.

■ Karri Uotila & Timo Saksa, Metla, Suonenjoki;  
Juho Rantala, Metsä Group; Nuutti Kiljunen, Metsähallitus  
Sähköposti karri.uotila@metla.fi

Sakari Tuominen ja Reija Haapanen

## Metsäbiomassan estimointi optimoidulla laserkeilaus- ja ilmakehu-aineistolla

**Seloste artikkelista:** Tuominen, S. & Haapanen, R. 2013. Estimation of forest biomass by means of genetic algorithm-based optimization of airborne laser scanning and digital aerial photograph features. *Silva Fennica* 47(1). <http://dx.doi.org/10.14214/sf.902>

**M**etsäbiomassan merkitys energianlähteenä on kasvamassa. Metsäbiomassan tehokas energiakäyttö edellyttää tarkkaa karttamuotoista tietoa metsäbiomassavaroista. Vuodesta 2009 lähtien metsäsuunnittelun tietolähteenä on Suomessa otettu käyttöön uuden sukupolven metsäninventointijärjestelmä, jossa puustotietojen estimointi perustuu laserkeilaus- ja ilmakehu-aineiston tulkintaan referenssikoealojen avulla. Uuden järjestelmän tavoitteena on mahdollisimman tarkkojen puustoesitimaattien tuottaminen metsikön tai metsikön osan tasolla. Toistaiseksi inventoinnissa on pitäyditty pelkästään ainespuuston tunnusten estimointiin, vaikka menetelmä mahdollistaisi myös muiden biomassaositteiden estimoinnin. Tutkimuksemme tavoitteena oli testata laser- ja ilmakehuperusteisen metsäninventointimenetelmän käyttöä metsäbiomassan estimoinnissa. Paneuduimme erityisesti kaukokartoituspiirteiden valintaan biomassatunnusten arvioinnissa. Vertailun vuoksi teimme samat laskelmat myös yhdelle perinteiselle tunnukselle, runkotilavuudelle.

Tutkimuksessa käytettiin kahta testiaineistoa: aineisto 1 käsitti noin 1 800 ha Evon opetusmetsäalueelta (Lammi, Hämeenlinna), josta oli mitattu 263 ympyräkoealaa, sekä aineisto 2 noin 36 700 ha metsää Kuopion ja Karttulan alueelta, josta oli mitattu 504 ympyräkoealaa. Molemmilta alueilta oli käytettävissä laserkeilausaineisto sekä digitaaliset ilmakehut. Samanlainen aineisto on tyyppinen nykyisen metsäsuunnittelun tietolähteenä. Biomassatunnukset estimoititiin jokaiselle koaloilta mitatulle lukupuulle käyttäen Repolan vuosina 2008 ja 2009 julkaisemia biomassamalleja. Alueella 1 käytettiin pääosin 3 muuttujan (läpimitta, pituus ja elävän

latvuksen korkeus) malleja ja alueella 2 kahden muuttujan malleja (elävän latvuksen korkeutta ei ollut mitattu). Biomassatunnusten estimointi testattiin koealatasolla, joten estimoidut biomassat ja tilavuudet muutettiin koealoittaisiksi arvoiksi. Tutkimuksessa käytettiin koealojen kokonaismääriä sekä puulajiryhmiä mänty, kuusi, lehtipuu/muun puulaji.

Myös estimoinnissa käytetyt laser- ja ilmakuvapiirteet irrotettiin koealakohtaisesti. Ilmakuvista irrotettiin kuvan sävyihin liittyviä tunnuksia (keskiarvot ja hajonnat) ja laseraineistosta pulssien korkeusjakaumaa kuvaavia tunnuksia. Molemmista aineistoista tuotettiin myös ns. tekstuuritunnuksia, jotka kuvaavat arvojen spatiaalista järjestymistä. Kaikki piirteet eivät kuitenkaan ole hyödyllisiä kuvatulointaprosessissa – osa mahdollisesti jopa haitallisia.

Optimaalisen piirreyhdistelmän etsimiseen käytettiin tässä tutkimuksessa geneettistä algoritmia seuraavasti: Luotiin satunnainen populaatio piirreyhdistelmiä. Kukin yhdistelmä oli piirteiden kokonaismäärän pituinen merkkijono, jossa jokaista piirrettä vastaa yksi merkki. Mikäli piirre oli aktiivinen ko. yhdistelmässä, sen paikalla oli arvo 1, muussa tapauksessa 0. Merkkijonon annettiin kehittyä käyttäjän määräämän kierrosluvun ajan. Kehittyminen tapahtui siten, että kaksi yhdistelmää kerrallaan vaihtoi osia keskenään. Mitä paremmin merkkijono täytti annetut kriteerit, sitä suuremmalla todennäköisyydellä se vaihtoi osia jonkun muun merkkijonon kanssa. Tuotettuihin uusiin merkkijonoihin lisättiin satunnaisesti hälyä, jonka jälkeen alettiin uusi kierros. Kriteerinä prosessissa käytettiin kunkin piirreyhdistelmän tuottamaa biomassan tai runkotilavuuden keskineliövirheen neliöjuurta (RMSE), joka estimointiin leave-one-out-ristiinvalidoinnilla. Kun tavoitteena oli huomioida myös puulajeittaiset virheet, luotiin keinotekoinen minimoitava kohdefunktio, jossa suhteellista RMSE:tä painotettiin seuraavasti: kokonaismäärän paino 0,55 ja männyn, kuusen sekä lehtipuun/muun puulajin paino 0,15 kukin.

Biomassan ja runkotilavuuden estimaatit tuotettiin ei-parametrisella  $k$ :n lähimmän naapurin menetelmällä. Tulosten luotettavuutta arvioitiin edellä mainitun RMSE:n sekä harhan avulla. Maanpäällisen

puustobiomassan estimointitarkkuus oli kummallakin testialueella parempi kuin puuston runkotilavuuden. Biomassaestimaattien suhteellinen RMSE oli noin 25 %, kun taas puuston runkotilavuuden vastaavat arvot olivat 28–29 %. Estimaattien suhde oli samanlainen, kun biomassat ja runkotilavuudet estimointiin puulajeittain puulajiryhmille mänty, kuusi ja lehtipuut/muut puulajit. Puulajeittaiset virheet jäivät kuitenkin suuriksi, 52–100 % biomassalle ja 58–120 % tilavuudelle. Piirrevalinnassa suurimman painon saivat laserpiirteet, ilmakuvapiirteiden merkitys biomassan estimoinnissa jäi pieneksi ja niistä oli hyötyä lähinnä puulajeittaisessa tulkinnessa. Kokonaisbiomassan ja -tilavuuden estimoinnissa riitti vähäisempi määrä kaukokartoituspiirteitä kuin puulajeittaisessa estimoinnissa.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että maanpäällisen biomassan määrä korreloi hyvin varsinkin laserkeilausaineistosta irrotettavien piirteiden kanssa, paremmin kuin esimerkiksi runkopuun tilavuus. Tulos on arkipäätelyllä hyvin perusteltavissa, sillä puustoon osuneiden laserpulssien paluukaiut metsässä tulevat oksista ja lehdistä/neulasista, eikä runkopuun määrä suoraan juuri vaikuta laserkeilaus- tai muihin kaukokartoituspiirteisiin, vaan nimenomaan latvusbiomassan kautta. Tulosten perusteella voidaan todeta, että biomassan estimointi osana laser- ja ilmakuvaperusteista puustotulkintaa toimii yhtä hyvin kuin perinteisten runkopuutunnustenkin ja se olisi teknisesti varsin suoraviivaista toteuttaa.

## Kirjallisuutta

- Repola J. (2009). Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647.
- Repola J., Ojansuu R., Kukkola M. (2007). Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 53.

■ Sakari Tuominen & Reija Haapanen, Metla, Vantaa  
Sähköposti sakari.tuominen@metla.fi



Sakari Tuominen, Juho Pitkänen,  
Andras Balazs, Kari T. Korhonen,  
Pekka Hyvönen ja Eero Muinonen

## VMI-koealojen käyttö laser- ja ilmakuvaperusteisessa puustotulkinnassa

Seloste julkaisusta: Tuominen, S., Pitkänen, J., Balazs, A., Korhonen, K.T., Hyvönen, P. & Muinonen, E. 2014. NFI plots as complementary reference data in forest inventory based on airborne laser scanning and aerial photography in Finland *Silva Fennica* 48(1), article id 983. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.983>

Suomessa on tällä hetkellä käynnissä kaksi koealamittauksiin perustuvaa metsäinventointia, jotka eroavat toisistaan koealatyypin, koealojen poiminnan sekä inventoinnin tavoitteiden suhteen. Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) tavoitteena on tuottaa harhattomat metsävaratiedot alueellisella ja valtakunnallisella tasolla, ja se perustuu koealojen systemaattiseen ryvästötantaan. Koealana käytetään relaskooppikoelaa, ja koealatyypin optimoitu puuston määrän kustannustehokasta arviointia varten alueellisella tasolla. Metsäkeskusten uuden sukupolven inventointijärjestelmä perustuu maastokoealojen käyttöön kaukokartoitusavusteisessa (laserkeilaus ja ilmakuvauus tietolähteenä) puustotulkinnassa. Tämän inventointijärjestelmän tavoitteena on tuottaa paikallisesti metsikkötasolla (tai jopa metsikön osan tasolla) tarkat puustotunnusten estimaatit, ja siinä ei pyritä alueelliseen harhattomuuteen. Koealojen poiminta perustuu kiintiöintiin ennalta määrättyihin metsäositteisiin, jotka yleensä määritetään aiemman metsäsuunnitelutiedon pohjalta, tavoitteena kiintiöinnissä on siis saada maastohavaintoja kaikenlaisista metsistä inventointialueella. Koealojen poiminnassa sallitaan tässä inventoinnissa myös jonkin verran subjektiivista valintaa, koeala voidaan sijoittaa edustavaksi katsottuun kohtaan. Käytettävä koealatyypin kiinteäsäteinen ympyräkoela, jolloin voidaan varmistaa, että kaukokartoitusaineistosta irrotettavien piirteiden ja maastomittauksen edustamat alueet

vastaavat likimain toisiaan. Tällä hetkellä nämä kaksi metsäinventointihanketta toimivat erillisinä. Mikäli näiden inventointien maastotöitä olisi mahdollista yhdistää niin, että samat maastomittaukset palvelisivat kumpaakin inventointia, tämä voisi tarjota kustannussäästöjä maastotyöresurssien tehokkaamman käytön kautta.

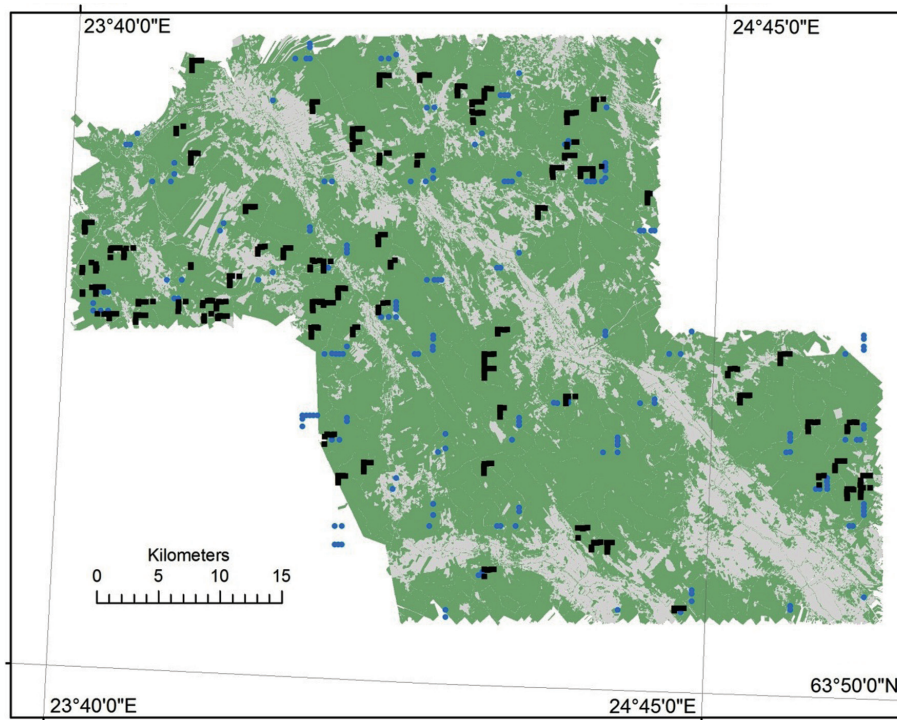
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää VMI-koealojen käyttökelpoisuutta laser- ja ilmakuvaperusteisessa puustotulkinnassa, ja erityisesti sitä, voidaanko VMI-koealojen käytöllä parantaa puustotulkinnan tarkkuutta.

Tutkimusalueena käytettiin Keski-Pohjanmaalla sijaitsevaa Kalajokilaakson inventointialuetta, jolta vuonna 2009 laserkeilattiin noin 200 000 ha:n laajuinen alue. Samalta alueelta koottiin ilmakuvarkistoista vääräväreilmakuvamosaiikki, jonka kuvausajankohdat ajoittuivat vuosille 2005–2009. Maastoaineistona käytettiin silloisen Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen vuonna 2010 mittamia ympyräkoeloa, joita oli kaikkiaan 468, sekä VMI10:n maastokoealoja vuosilta 2006–2008 sekä VMI11:n maastokoealoja vuosilta 2009–2010, yhteensä VMI-koealoja oli inventointialueella metsätalousmaalla 186.

Puustotulkinnan tulokset laskettiin erilaisilla metsäkeskuskoealojen ja VMI-koealojen yhdistelmillä, ja eri puustotulkintojen tarkkuuksia verrattiin keskenään. Testattuja yhdistelmävaihtoehtoja olivat mm. pelkät metsäkeskuskoealat, kaikki VMI-koealat, VMI-koealat vuosilta 2008–2010, edellisten yhdistelmät sekä yhdistelmä, jossa metsäkeskuskoealat oli korvattu samaan poimintaositteeseen osuvilla VMI-koealoilla, mikäli sellaisia oli saatavilla.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että VMI-koealojen käyttö ei pääsääntöisesti parantanut puustotulkinnan tulosta, varsinkaan silloin kun mukana olivat koko edeltävän viisivuotiskauden koealat. Käytettäessä vain kolmen viimeisimmän mittausvuoden (2008–2010) VMI-koealoja yhdessä metsäkeskuksen koealojen kanssa saatiin aikaan parannusta puulajeittaisten tilavuuksien estimoinnissa. Puuston kokonaistilavuuden, keskipituuden ja läpimitan estimoinnissa metsäkeskuskoealat yksinään antoivat parhaan estimointitarkkuuden (kun testiaineistona olivat metsäkeskuskoealat).

Voidaan olettaa, että pääasiallisena syynä VMI-koealojen tuottamaan vähäiseen lisähyötyyn puus-



**Kuva 1.** Eri koealatyypin sijoittelu Kalajokilaakson inventointialueella (mustat neliöt = metsäkeskuksen mittaamat koealat, siniset ympyrät = VMI-koealat, vihreä = metsätalouden maa, harmaa = muu maankäyttö).

totulkinnassa on käytetty koealatyypin Relaskoopikoealan edustama alue vaihtelee puuston läpimitan mukaan, ja varsinkin pienissä puustoissa maastokoeala ei vastaa kaukokartoituspiirteiden irrotuksessa käytettyä yksikköä, joten relaskoopikoealan soveltuvuus laser- ja ilmakuvaperusteisen tulkinnan maastoreferenssiksi on pääsääntöisesti ympyräkoelaa huonompi.

Lisäksi on huomioitavaa, että metsäkeskuksen mittaamien koealojen poiminta on sovitettu inventointialueelle edustavaksi vanhan metsäsuunnittelu-tiedon pohjalta. VMI-otanta on suhteessa tyypillisen inventointialueen kokoon yleensä melko harva, ja koealojen määrä jää pieneksi, ja silloinkin aineisto yleensä koostuu useamman vuoden aikajaksolta.

VMI-aineiston käyttökelpoisuutta olisi mahdollista parantaa lisäämällä koealan edustavuutta pienissä puustoissa, joko pienentämällä relaskoopikerrointa tai käyttämällä jonkinlaista ympyräalaa pienille

puille. Toisaalta lukupuiden määrän lisääminen kasvattaa työmäärää, ja vähentää VMI:n kustannustehokkuutta inventoinnin alkuperäisen tavoitteen suhteen. Inventointien välillä voitaisiin saada synergiaetua menetelmällä, jossa VMI:n systemaattista otosta käytetään lähtökohtana inventointialueen koealapoiminnalle, ja VMI-otosta täydennetään lisäkoaloilla esim. vanhasta suunnitteluaineistosta saatavan apriori-tiedon pohjalta niin, että koealapoiminta saadaan kyseisellä alueella edustavaksi puustotulkinnan kannalta.

■ Sakari Tuominen, Juho Pitkänen, Andras Balazs, Kari T. Korhonen, Pekka Hyvönen & Eero Muinonen: Metla, Vantaa & Metla, Joensuu  
Sähköposti sakari.tuominen@metla.fi