

Eri- ja tasarakenteiskasvatuksen vertailua Pohjoismaissa

Erkki Lähde, Olavi Laiho ja Timo Pukkala

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Lähde, Erkki, Laiho, Olavi & Pukkala, Timo			
Nimeke Eri- ja tasarakenteiskasvatuksen vertailua Pohjoismaissa			
Vuosi 2010	Sivumäärä 22	ISBN 978-951-40-2258-6 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Etelä-Suomen alueyksikkö, Länsi-Suomen alueyksikkö ja Itä-Suomen yliopisto / Poiminta- ja pienauk- kohakkuun käytön mahdollisuudet sekä vaikutukset puuntuotantoon ja metsikön kasvatuksen kannatta- vuuteen 3507			
Hyväksynyt Pasi Puttonen, tutkimusjohtaja, 18.10.2010			
Tiivistelmä <p>Kuusikymmentä vuotta sitten julkaistun Harsintajulkilausuman seurauksena Suomessa lopetettiin metsien perinteinen erirakenteisena kasvatusta. Samalla estettiin vaihtoehtoisten kasvatustieteen tutkimien tutkiminen ja kehittäminen. Samankaltainen kehitys on tapahtunut myös Ruotsissa ja Norjassa. Inventointitietojen mukaan metsät ovat kuitenkin näissä maissa olleet viime vuosisadan alkupuoliskolla lähes yksinomaan erirakenteisia. Viimeisen 30 vuoden aikana perustetut eri menetelmien rinnakkaiset vertailukokeet ovat lisäksi osoittaneet, että erirakenteiset metsät kasvavat vähintään yhtä hyvin, usein jopa paremmin kuin nykykäytännön tasarakenteiset puustot. Valtakunnallisesti edustavat ja kattavat inventointiaineistot (VMI) Suomessa ovat vahvistaneet nämä kenttäkokeiden tulokset. Kenttäkokeista ja VMI-aineistoista johdetut mallit ja niillä tehdyt laskelmat ovat osoittaneet erirakenteisten metsien taloustulosten olevan yleensä parempia kuin tasarakenteisten.</p> <p>Vanhoista jo 1900-luvun alkupuolella ilman vertailualoja perustetuista mutta pitkään aikaa seuratuista koealoista on kuitenkin saatu osittain toisenlaisia tuloksia. Niistä vasta äskettäin lasketut taloudelliset arviot poikkeavat edellä kerrotuista tuloksista. Ristiriita on kuitenkin vain näennäinen, sillä suurta osaa vanhoista harvalukuisista koealoista oli eri vaiheissa käsitelty erirakenteiskasvatuksesta poikkeavilla tavoilla. Lisäksi niiden tuotosta on verrattu myöhemmin edullisemmissä oloissa kasvatettiin ja vain onnistuneesti käsiteltyihin tasarakenteisen metsän mittaustietoihin. Kun tarkasteltavaksi otetaan vanhoista koealoista erikseen erirakenteiskasvatusta vastaavien koealojen kasvu, tulos on samanlainen kuin uusista kokeista on saatu. Mitä korkeampaa korkoa metsätaloudessa edellytetään sitä selvemmin erirakenteiskasvatusta on kannattavampaa. Jos tasarakenteiskasvatuksessa toimittaisiin taloudellisesti optimaalisesti eli käytettäisiin yksinomaan luontaista uudistamista ja yläharvennusta, sen taloudellinen tulos paranisi huomattavasti ja lähenisi erirakenteiskasvatuksen tasoa.</p>			
Asiasanat kannattavuus, rakenne, tuotos, tuotto, uudistuminen			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp176.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Erkki Lähde, Metsäntutkimuslaitos, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti erkki.lahde@metla.fi			
Bibliografiset tiedot			
Muita tietoja Taitto: Maija Heino			

Sisällys

1 Jatkuva kasvatus	5
2 Sarvaksen tutkimukset.....	6
3 Inventointiaineistot kenttäkokeiden tukena	8
4 Ruotsissa ja Norjassa vanhoja harsintakoealoja.....	11
5 Viljelymetsätalouden kannattavuus heikko.....	12
6 Tuottavuuden arviointi kasvumalleilla	14
7 Tarvitaan lisää tietoa korjuusta ja monikäytöstä	15
8 Päätelmiä	17
Kirjallisuutta.....	19

1 Jatkuva kasvatusta

Metsän kasvatuksessa vastakkaisia menetelmiä ovat jaksollinen eli tasarakenteiskasvatusta (tasaikäismetsätalous) ja jatkuva eli erirakenteiskasvatusta (eri-ikäismetsätalous). Kumpaakin voidaan puuston rakenteesta riippumatta käyttää kaikissa kehitysvaiheissa eli taimikoista erilaisiin vartuneisiin metsiköihin. Edellisessä menetelmässä tasataan puuston rakennetta alaharvennuksin ja raivauksin. Jälkimmäisessä puolestaan vahvistetaan erirakenteisuutta poimintahakkuuin ja nuorennosta suojaten. Molemmissa menetelmissä suunnittelu voidaan pohjata samaan metsikkökuviointiin, johon merkitään mm. kehitysluokka, erirakenteisuusaste ja omistajan haluama käsittelytapa.

Erirakenteisiksi luokitellaan metsät, joissa puita esiintyy laajalla runkolukujakauman alueella. Niitä kutsutaan myös eri-ikäisiksi, vaikka yleensä vain isoimpien puiden ikä on mitattu. Toisaalta metsään täytyy ennemmin tai myöhemmin syntyä nuoria puita. Tällöin se muuttuu eri-ikäiseksi, vaikka se nuorena olisi ollut täysin tasaikäinen ja samalla erirakenteinen. Tämän rakenteen säilyttävää metsänhoitoa kutsuttiin aiemmin metsänhoidolliseksi harsinnaksi. Nykyisin metsän erirakenteisena hoitoa kutsutaan myös jatkuvaksi kasvatukseksi (*continuous cover forestry*) ja vastaavia metsiä jatkuvarakenteisiksi (Laiho ja Lähde 2001). Kasvatusta menetelmää, jossa pyritään ylläpitämään puiden kokovaihtelua nimenomaan jatkuvan uudistumisen avulla, nimitetään kansainvälisessä kirjallisuudessa usein myös eri-ikäismetsätaloudeksi (*uneven-aged management*). Tällöin puun ikä ja koko korreloivat eli metsikön pienimmät puut ovat myös nuorimpia. Erirakenteisen metsän erikoistapaus on yhden, esimerkiksi kuusen tai useamman puulajin jokaisen läpimittaluokan kattava, käännetyn J-kirjaimen muotoinen jakauma. Sellaista metsää kutsutaan säännöllisen erirakenteiseksi (Lähde ym. 1991, Laiho ym. 1994). Säännöllisen erirakenteisiksi luetaan myös vastaavat sigmoidiset jakaumat, joissa hakkuun jälkeen on jakaumassa lievä kasauma arvokynnyksiä pienempien puiden lukumäärässä.

Jatkuva kasvatusta määritellään menetelmäksi, jossa metsä säilytetään koko ajan puustoisena. Se on kaikkien erirakenteiskasvatusta vaihtoehtojen hakkuutapa. Puuston rakenne ja koostumus vaihtelevat laajoissa rajoissa yksikerroksisista useampikerroksisiin ja uudistamisvaiheen metsiköistä enemmän tuotostaiheeseen metsiköihin (vrt. O'Hara 1996, 1998). Yleensä on kyse sekametsistä. Painotukset vaihtelevat ajassa kehitysvaiheen, rahantarpeen ja menekin mukaan. Jatkuva kasvatusta on samalla vastakkainen menetelmä puuston jaksolliselle kasvatustalle tasarakenteisena (*rotation forestry, even-aged management*), jossa tietyn kiertoajan jälkeen uuden sukupolven kasvatusta aloitetaan avoimelta alalta tai lyhytaikaisesta siemenpuuasennosta.

Erirakenteiskasvatustassa pyritään puuston sellaiseen kokovaihteluun, että suurimpien puiden tultua hakatuiksi kasvamassa on tukkikokoon aina uusia puita. Myös alikasvoksen kokovaihtelu on tärkeää, vaikka se tasarakenteiskasvatustassa koetaan haitaksi. Erirakenteiskasvatustassakin on kyse puuston eri kehitysvaiheista ja metsikkötaloudesta, sillä kaikissa käsittelyissä metsä on syytä jakaa metsiköihin kasvupaikan, puuston koostumuksen, kehitysvaiheen ja käsittelyhistorian perusteella. Erirakenteisen metsän kehitysvaihetta voidaan kuvata luokituksella, joka on rinnasteinen tasarakenteiskasvatustan kanssa (vrt. Poso 2010) ja kattaa kasvatustan eri vaiheet. Erottavana tekijöinä ovat keskipeitteen ja -läpimitan korvaaminen valtapuiden tunnuksilla sekä puuston rakenne ja kasvatustan tavoite. Aikoinaan määrämittaharsinnoissa saatettiin käydä hakkuulla läpi koko tilan metsä, jolloin metsälö oli kuin yksi käsittely-yksikkö rakennevaihtelusta riippumatta.

Jatkuvassa kasvatustassa huonolaatuiset isot puut poistetaan, ellei joitakin niistä, ole tarpeen jättää monimuotoisuussysteistä. Pienempien puiden ylitiheitä kohtia voidaan harventaa, mutta yleensä

hakataan vain jo tukkipuun koon saavuttaneita puita. Kaikkia isoja puita ei kuitenkaan hakata, vaan joitakin eri puulajien isoimpia puita säästetään laatuksivatkuksen, erikoispuiden tuottamisen, maiseman, monimuotoisuuden ja monikäytön vuoksi. Kaavamaisessa määrämittahakkuussa hakattiin aikoinaan taloudellisista syistä kaikki tietyn koon ja laadun täyttävät puut eli kaikki sahapuiksi kelpaavat yksilöt ja joskus lisäksi rahan tarpeen vuoksi myös kuitupuita. Hakkuussa jäljelle jäänyttä puustoa ei tavallisesti hoidettu. Jäljelle voitiin jättää siten myös huonolaatuisia isoja puita, joilla ei ollut taloudellista arvoa. Seuraava hakkuu tehtiin, kun riittävä määrä alla kasvaneista puista täytti määrämitan rajan. Menettely oli silloisissa oloissa ja on nykyisinkin taloudellisesti tehokasta metsän käyttöä (Pukkala ym. 2009, Lähde ym. 2010).

Tasarakenteisiksi tai tasaikäisiksi luokitellaan puustot, joiden runkolukujakauma on suppea (Lähde ym. 1991). Jos jakauma lisäksi muistuttaa normaalijakaumaa, metsikköä voidaan kutsua myös keskittyneeksi (Laiho ja Lähde 2001). Tällaisia tasarakenteisiä puustoja saadaan aikaan uudistushakkuilla, lähinnä avohakkuun jälkeen viljelyllä ja toistuvilla alaharvennuksilla. Laajan runkolukujakauman kattavia puustoja, joiden jakauma muistuttaa normaalijakaumaa, kutsutaan myös tasarakenteisiksi ja tasaikäisiksi, vaikka ne todellisuudessa ovat erirakenteisia. Näin on menetelty mm. kasvu- ja tuottotaulukoita laadittaessa (Ilvessalo 1920a,b). Muutoin luonnonmetsistä olisi ollut vaikea löytää lainkaan tasarakenteisiä puustoja.

Siemen- ja suojuspuuhakkuut, yläharvennus ja määrämittahakkuu ovat menetelminä välimuotoja eri- ja tasarakenteiskasvatuksen välillä. Jos alikasvosta on riittävästi, yläharvennuksen tai määrämittahakkuun sekä luontaisen uudistamisen käyttö on samalla jatkuvaa kasvatusta. Erirakenteinen alikasvos voidaan edelleen kehittää säännöllisen erirakenteiseksi. Metsän kehityksessä on tällöin kerroksellisen erirakenteinen vaihe. Nopeimmin kerroksellista puustoa voidaan kasvattaa säännöllisen erirakenteiseksi, jos kaikkia isoja puita ei hakata. Alikasvoksesta syntynyttä taimikkoa ei tutkimusten mukaan (Lähde 1991, 1992a) ole taloudellisesti järkevää harventaakaan ennen kuin vasta ensiharvennusvaiheessa eli kun hakkuussa jo saadaan tuloja. Siihen mennessä nuori puusto ehtii kehittyä erirakenteiseksi ja hoito voidaan tehdä jatkuvalla kasvatuksella (Lähde ym. 1999a,b, 2009).

2 Sarvaksen tutkimukset

Puuston tasarakenteisena kasvatuksesta on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa runsaasti tutkimuksia. Ajallisesti ne kuitenkin kattavat vasta kasvatuksen ensimmäiset vuosikymmenet eli koko kiertoajan kattavaa tutkimustietoa on kovin vähän. Silti tämä kasvatustapa (alaharvennus-päätihakkuu) on otettu laaja-alaisesti käyttöön lähes yksinomaisena menetelmä. Vertailevia kokeita samoissa oloissa tasa- ja erirakenteisena kasvatuksesta ei toistuvista kiistoista ja yleisestä kiinnostuksesta huolimatta (Siiskonen 2007) ole perustettu kuin vasta 1980-luvulla (Lähde ym. 1992a).

Sarvaksen (1944) määrämittaharsintatutkimuksia viime vuosisadan alkupuoliskolta on usein käytetty osoittamaan erirakenteisena kasvatuksen kelvottomuutta, jopa mahdottomuutta. Sarvas itse kuitenkin kertoi, että hänen tutkimuksensa ei käsitellyt erirakenteisena kasvatusta eli metsänhoidollista harsintaa. Silti hän Harsintajulkilausuman (Appelroth ym. 1948) sihteerinä oli viiden muun ammattimiehen kanssa vaatimassa kaikkien erirakenteisena kasvatuksen menetelmien kiellettämistä. Julkilausuma oli vain mielipide eikä se perustunut eri vaihtoehtojen systemaattiseen saati tieteelliseen vertailuun. Sen perusteella kuitenkin muutettiin silloisen metsälain tulkintaa ja määrättiin rauhoitettavaksi seuraavan 40 vuoden aikana yhteensä noin 650 000 hehtaaria niskuroivi-

en eli vanhaa käytäntöä noudattaneiden metsänomistajien metsiä. Metsänhakkuun päätösoikeus siirrettiin samalla 10 vuoden ajaksi valvovalle metsäorganisaatiolle.

Sarvas (1948) esitti, että erirakenteisena kasvatus olisi mahdotonta, koska Suomessa ei kasva luontaisesti jalokuusta eikä pyökkiä, jotka Keski-Euroopassa ovat parhaiten varjoa sietäviä puulajeja. Kaikilla ilmasto- ja maantieteellisillä vyöhykkeillä kuitenkin kasvaa niihin oloihin sopeutuneita varjoa sietäviä ja vastaavasti eniten valoa vaativia puita. Suomen oloissa varjoa sietävin puulaji on kuusi, vaikka sitä ei Keski-Euroopassa luetakaan erityisen hyvin varjoa sietävien lajien joukkoon. Valoilma- ja metsien rakenne sekä puuston koko ja runsaus muuttuvat siirryttäessä ilmastovyöhykkeeltä toiselle. Esimerkiksi Pyreneillä Kataloniassa myös mäntyä kasvatetaan laajoilla alueilla erirakenteisena (Trasobares ym. 2004, Trasobares ja Pukkala 2005). Jatkuva kasvatus on siellä selvästi kannattavin mäntymetsien hoitomuoto (Solano ym. 2007). Tasarakenteismetsätalous, jossa tehdään taimikosta lähtien alaharvennuksia, edellyttää siellä valtion tukea ollakseen taloudellisesti kannattavaa. Taimikonhoito ja ensiharvennus edellyttävät Suomessakin valtion tukea, sillä metsänomistajat eivät ole kovin halukkaita tekemään niitä kustannusten vuoksi. Varjonsietokyky ei siis ole este suomalaisten puulajien kasvattamiselle erirakenteisina.

Sarvaksen yksityismetsistä kerätyt koemetsiköt olivat puustoltaan vaihtelevia (taulukko 1). Yli puolella kaikista koealoista (195 kpl) puuston tilavuus oli alle 50 m³/ha. Toisaalta kymmenellä prosentilla metsiköitä puustoa oli vielä yli 120 m³/ha. Runkolukujakauman mukaan tämän metsikköryhmän puustot olivat pääosin erirakenteisia ja vastasivat siten silloista metsänhoidollista harsintaa. Näiden metsiköiden vuotuinen kuoreton kasvu oli keskimäärin 4,8 m³/ha eli kuorellisena noin 5,7 m³/ha. Kasvu oli suurempi kuin varttuneiden metsien silloinen keskimääräinen kasvu (Ilvessalo 1956). Kaikkien Sarvaksen koemetsiköiden vastaavat keskimääräiset vuotuiset kuoretomat kasvut olivat lähes puolet pienempiä. Syynä heikkoon kasvuun ei kuitenkaan ollut puuston rakenne, vaan sen vähäisyys. Kuudennes koealoista oli puustoltaan alle 20 m³/ha. Samanlaiseen huonoon tulokseen päädyttäisiin tasarakenteismetsätaloudessakin liian voimakkaiden harvennusten seurauksena. Kaiken lisäksi tasarakenteisten metsien tutkimuskäytännössä usein hylätään epäonnistuneet eli esimerkiksi uudelleen viljeltävät ja huonosti onnistuneet koealat (esim. Vuokila ja Väliaho 1980).

Taulukko 1. Sarvaksen (1944) Etelä-Suomen harsintakoealojen puusto- ja taimitietoja (kasvu kuoretta).

	Puuston tilavuus		
	> 120 m ³ /ha	51–120 m ³ /ha	<50 m ³ /ha
Koealoja, kpl	19	72	104
Tilavuus, m ³ /ha	158	77	29
Kasvu, m ³ /ha/v	4,8	3,2	1,7
Kasvu, % tilavuudesta	3,0	4,2	5,7
Taimien määrä (mä, ku, ko), kpl/ha			
Taimet (pituus 0,1–1,3 m)	5 868	3 737	5 572
Taimiaines (pituus < 0,1 m)	19 105	3 448	2 216
Runkoluku, kpl/ha			
1–5 cm	924	1 438	1 375
5–10 cm	436	417	281
10–20 cm	530	335	109
> 20 cm	184	88	38

Sarvaksen koemetsiköissä oli runsaasti taimia ja muuta alikasvosta (taulukko 1). Pääpuulajien männyn, kuusen ja koivun taimia (pituus 0,1–1,3 m) ja taimiainesta (< 0,1 m) oli molempia keskimäärin lähes 5000 kpl/ha. Lisäksi koemetsiköissä oli runsaasti läpimittaluokan 1–5 cm puita. Koivun osuus taimista oli 500 kpl/ha. Nuorennoksen määrä ei riippunut juurikaan kasvupaikasta tai puuston runsaudesta. Aineiston sisäinen vaihtelu oli suurta. Viidenneksellä koealoja taimien määrä oli alle 1000 kpl/ha. Niillä oli kuitenkin eniten taimiainesta ja tyydyttävästi myös pieniä puita. Ne yhdistäen vain 5 %:ssa koealoja nuorennosta oli alle 1000 kpl/ha. Uudistuminen ei siten näissä eri tavoin hakatuissa eli harsituissa metsissä ollut ongelma. Sarvaksen koealoilla kyseessä oli metsän voimaperäinen käyttö ja täysimittainen taloudellinen hyödyntäminen. Rahan tarpeen sanelema, liian usein toistunut voimakas hakkuu saattoi tosin merkitä pitkällä aikavälillä tuotostappioita.

3 Inventointiaineistot kenttäkokeiden tukena

Valtakunnan metsien inventointiaineistot (VMI) osoittavat, että esimerkiksi 1920-luvun alussa Suomen metsistä kaksi kolmasosaa oli vielä hakkaamattomia tai vain lievästi hakattuja (Heikinheimo 1924). Kaikki nämä metsät olivat eri tavoin erirakenteisia (Lähde ym. 1991, Norokorpi ym. 1994). Säännöllinen erirakenteisuus säilyi yleisimpänä varttuneissa metsissä myös myöhemmissä inventoinneissa (Lähde ym. 1992b, Laiho ym. 1994). Vielä 1980-luvun puolivälissä tehdyn kahdeksannen inventoinnin ns. pysyvät koealat osoittivat säännöllisen erirakenteisuuden säilyneen jo pitkään jatkuneista rakennetta tasaavista alaharvennuksista huolimatta yleisimpänä rakenteena varttuneissa kasvatus- eli harvennus- ja uudistuskypsissä metsissä (Laiho ym. 1999, Lähde ym. 1999a,b). Niitä oli vielä yli 40 %. Kun niihin lisätään kerroksellisesti erirakenteiset, eri lailla erirakenteisia metsiä kertyi yhteensä noin 70 %. Muissa Pohjoismaissa tehdyt inventoinnit osoittavat erirakenteisten metsien olleen yleisimpiä myös siellä (Uppskattning... 1932, Nilsson ja Östlin 1961, Skogsstatistik... 1989).

Inventointiaineistot antavat mahdollisuuden tarkastella myös rakenteeltaan erilaisten metsiköiden uudistumista, alikasvosta ja tuotosta. Puutteena vanhimmissa inventoinneissa on tasarakenteisten puustojen vähäisyys ja viimeisissä inventoinneissa relaskoopin käyttö lukupuiden valintaan ja sen seurauksena pieni pienten puiden otantasuhde, sekä taimien ja muun alikasvoksen suurpiirteinen mittaaminen. Joka tapauksessa inventoinnit osoittavat, että varttuneissa metsissä on ollut rakenteesta riippumatta runsaasti taimia ja muuta alikasvosta (Laiho ym. 1999, Lähde ym. 1999a).

Kolmannessa inventoinnissa mitattiin myös pintakasvillisuus ja sen mukana läpimitaltaan alle 2 cm:n puiden, pensaiden (<1,3 m) ja varpujen (<50 cm) peittävyys. Niistä lasketut lukumäärät antavat kuvan koko uudistumisesta (taulukko 2). Sitä oli runsaasti. Tuoreilla ja lehtomaisilla kan-kailla sitä oli enemmän kuin kuivahkoilla ja kuivilla. Taimia oli runsaasti tasarakenteisissa metsiköissäkin. Vaikka niissä 2–6 cm:n läpimittaista puustoa oli niukasti eli vain yhdeksäsosa säännöllisen erirakenteiseksi luokiteltuihin verrattuna, pienikokoisempaa alikasvosta oli jopa enemmän. Todellisuudessa nekin olivat siten kerroksellisen erirakenteisia. Pääpuulajeista kuusta oli eniten. Vain yhdellä prosentilla koealoja pääpuulajien alikasvos jäi alle 1000 kpl/ha.

Erirakenteisten metsien uudistumisesta ja alikasvoksen kehityksestä kenttäkokeissa on kertynyt Suomessa runsaasti tutkimustietoa (Lähde 1992b,c, Lähde ym. 1999a,b, Saksa 2004, Eerikäinen ym. 2007, Lin ym. 2010). Sekä pitkään käsittelemättöminä olleissa että jatkuvalla kasvatuksella hoidetuissa kuusivaltaisissa metsissä on tutkimusten mukaan ollut runsaasti taimia. Taimien syntyminen ja kasvu sekä alikasvoksen kehitys ovat olleet yleensä sitä voimakkaampia mitä pienempi puuston määrä on ollut hakkuun jälkeen (Lin ym. 2010). Luontainen uudistuminen vaihtelee

Taulukko 2. Etelä-Suomen puusto- ja taimitietoja rakenneluokittain kolmannessa VMI:ssä (1951–53). Trk+ = tuoreet kankaat ja sitä viljavammat kasvupaikat; Kvk- = kuivahkot kankaat ja sitä karummat kasvupaikat.

	Säännöllisen erirakenteinen		Tasarakenteinen	
	Trk+	Kvk-	Trk+	Kvk-
Koealoja, kpl	1 087	576	296	203
Tilavuus, m ³ /ha	123	101	168	111
Taimia, kpl/ha				
Mänty, kuusi ja koivu	3 460	1 987	4 863	3 156
Muut puulajit	1 216	307	1 087	238
Runkoluku, kpl/ha				
2–6 cm	1 211	541	80	89
6–10 cm	546	517	111	127
10–22 cm	517	487	533	517
> 22 cm	89	70	158	85

paljon ajallisesti ja paikallisesti. Siksi löytyy metsiköitä ja koealoja, joissa taimia on niukasti. Koivien pienten aineistojen perusteella ei tämän vuoksi pidä tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Suomen vanhimmat raportoidut harsintakoealat perustettiin Tuusulaan vuonna 1930 (Heikinheimo 1956, Mikola 1984). Koealoja oli kaksi lehtomaisen kankaan puhtaassa kuusikossa. Toisen puusto oli selvästi yli-ikäistä. Hakkuut toistettiin vuosina 1936, 1945, 1955 sekä 1970, jolloin kokeet lopetettiin. Nuoremman metsikön (ikävaihtelu 50–115 v), joka oli tarkoitettu edustamaan metsänhoidollista harsintaa, lähtöpuusto oli 348 m³/ha. Se alennettiin asteittain ja lopulta vuoden 1970 hakkuussa 75 m³:iin ja 350 runkoon hehtaaria kohti. Alle 30 cm:n pituisia kuusen taimia oli kokeen alussa 70 000 ja vuoden 1945 inventoinnissa 57 000/ha. Koivun taimien määrä nousi vastaavana aikana 3500:aan. Ei tiedetä, mikä metsiköiden rakenne lähtötilanteessa tarkalleen oli ja miten se kasvatuksen aikana muuttui. Koealan puusto kuitenkin muistutti niukkojenkin tietojen mukaan enemmän suojuspuuasentoa kuin säännöllisen erirakenteista metsää ja oli vuoteen 1955 asti alikasvoksen kehityksen kannalta aivan liian runsas.

Myöhemmissä laajoissa kokeissa taimimäärät ovat nousseet muutaman vuoden jälkeen hakkuusta jopa useisiin tuhansiin, jos puuston määrä on ollut esimerkiksi alle 150 m³/ha. Hyvin tiheissä metsissä (>350 m³/ha) uudistuminen ja alikasvoksen kehitys ovat olleet heikkoja. Jos edellytetään erirakenteisessa metsässä tasarakenteisena kasvatuksen minimimäärää kymmenen vuoden kuluessa hakkuusta eli 1200 kpl/ha, raja täyttyy poikkeustapauksia lukuun ottamatta hyvin vielä tiheydessä 200 m³/ha (Lin ym. 2010). Kuitenkin on muistettava, että samalla tavoin kuin tasarakenteisen puuston uudistamisessa, voi erirakenteisessa metsässä olla tarpeen tehdä täydennysviljelyä varsinkin, jos kannattavuuden sijasta pidetään tärkeänä suurta puuntuotosta. Ruotsissa ja Norjassa on myös mitattu uudistumista erirakenteisissa sekä hakatuissa että pitkään hakkaamattomina olleissa metsissä (Böhmer 1957, Nilsen 1988, Lundqvist 1989, Lundqvist ja Fridman 1996, Nilson 2001, Lundqvist ja Nilson 2007). Tulokset ovat olleet hyvin samankaltaisia kuin Suomessa. Pääpuulajien taimia on ollut tuhansia hehtaaria kohti.

Kolmannen inventoinnin (1951–1953) aineistosta on luokiteltu runkolukujakauman perusteella rakenteeltaan erilaiset metsiköt ja verrattu niiden kasvua samoissa oloissa ja eri osissa maata. Saman tilavuuden omaavissa metsiköissä ero on ollut säännöllisen erirakenteisten hyväksi 10–40 %

sekä Etelä-Suomessa (Lähde ym. 1994a,b) että Pohjois-Suomessa (Lähde ym. 1996, Norokorpi ym. 1996). Tasarakenteisten osuus koko Etelä-Suomen VMI-aineiston kivennäismaiden varttuneissa metsissä oli vajaa viidennes (taulukko 3). Kasvu oli sama kuin säännöllisen erirakenteisilla koealoilla, mutta suhteellinen kasvu oli jälkimmäisillä kolmanneksen suurempi. Kuorelliseksi muutettuna saman puustomäärän (71–120 m³/ha) omaavien säännöllisen erirakenteisten metsien keskimääräinen kasvu oli 4,6 ja vastaavissa tasarakenteisiksi luokitelluissa 20 % pienempi eli 3,8 m³/ha/v. Ensin mainituilla koealoilla pienien puiden määrä oli kahdeksankertainen tasarakenteisiin verrattuna.

Suomalaiset uudet kenttäkokeet, jotka poiketen vanhoista Pohjoismaisista kokeista on toteutettu arvotusti samoissa oloissa ja samassa lähtöpuustossa, osoittavat mm. jatkuvan kasvatuksen, alaharvennuksen ja määrämittahakkauksen tuotos- ja tuottoeroja (Lähde ym. 1999a,b, 2001, 2002a,b, 2009, 2010, Pukkala ym. 2009, 2010). Voimakkaasti jatkuvalla kasvatuksella tai määrämittaharvennalla hakatut metsiköt ovat inventointitietoja vastaavasti pienemmällä puustomäärällä kasvaneet yhtä hyvin tai jopa enemmän kuin nykykäytännön ohjeiden mukaan alaharvennetut puustot sekä nuorissa että varttuneissa kehitysvaiheissa. Useissa tutkimuksissa kasvuero on 10–25 vuoden seurannan aikana ollut vajaa 1 m³/ha/v eli 10–20 % jatkuvan kasvatuksen hyväksi (Lähde ym. 1994a,b, 1999a, 2001, 2002a, 2010).

Saksan (2004) tutkimuksessa raportoitiin hyvin suuria kasvulukuja, joissa myöhemmin on todettu olleen virheitä. Samojen koealojen kasvuja on esitelty myöhemmin Valkosen ym. äskettäin (2010) ilmestyneessä avohakkuun vaihtoehtoja käsittelevässä oppikirjassa. Sen mukaan kasvu oli 15 vuoden seurannan aikana lisääntynyt 5,3:sta 5,9:ään m³/ha/v tilavuuden vastaavasti vaihdellessa välillä 50–250 m³/ha. Kasvun vähäinen voimistuminen tilavuuden huomattavasti suuretessa oli samankaltainen tulos kuin Lähde ym. (2010) ovat mitanneet toisesta kenttäkokeesta.

Suhteellinen arvokasvu on pitkän aikavälin tarkasteluissa ollut säännöllisen erirakenteisessa metsässä suurempi kuin tasarakenteisessa metsässä. Koska jatkuvassa kasvatuksessa hakataan lähinnä tukkipuita, joiden arvokasvuprosentti on pienempi kuin markkinoilla yleisesti saatu korko, metsänhoito on taloudellisempaa kuin nykykäytännössä, jossa lähes koko kiertoajan harvennetaan puita, joiden arvokasvu on vasta nousmassa (ks. Pukkala ym. 2009, 2010, Tahvonen 2009,

Taulukko 3. Etelä-Suomen kivennäismaiden varttunut puusto rakenneluokittain kolmannen (1951–53) VMI:n mukaan (kasvu kuoretta).

	Säännöllisen erirakenteinen	Kerroksellisen erirakenteinen	Tasarakenteinen
Kaikki koealat, kpl	3905	941	1050
Tilavuus, m ³ /ha	99	86	131
Kasvu, m ³ /ha/v	3,9	2,9	3,8
Kasvu, % tilavuudesta	3,9	3,4	2,9
Runkoluku, kpl/ha			
2–10 cm	1770	682	230
10–22 cm	532	337	588
> 22 cm	79	103	128
Puuston tilavuus 71–120 m ³ /ha			
Koealoja, kpl	1434	263	324
Kasvu, m ³ /ha/v	3,9	3,4	3,2

Tahvonen ym. 2010). Tukkipuuaihioiden eli kuitupuiden hakkaaminen ei tulosten mukaan vaikuta olevan taloudellisesti mielekäästä toimintaa.

Kenttäkokeet ovat antaneet siten Suomen oloissa samankaltaisia tuloksia kuin edustavat ja kattavat inventointiaineistot. Jos kenttäkokeiden tulokset poikkeaisivat inventoinneista, olisi syytä epäillä, että koejärjestelyt ovat olleet virheellisiä tai kokeet epäonnistuneita. Kokeiden alkuvaiheessa on usein ollut se heikkous, että pitkään käsittelemättöminä ja siten runsaspuustoisina olleet koemetsiköt eivät elvy kovin nopeasti hakkuun jälkeen (Lähde ym. 2002a,b, Lundqvist ym. 2007). Tällaisia puustoja kokeissa on ollut runsaasti. Havainnot kenttäkokeista, joita on jo ehditty hakata usean kerran, osoittavat kasvun nopeutuvan ajan kuluessa (Lähde ym. 2010). Vaikka kenttäkokeet ovat yleensä suhteellisen lyhytaikaisia, noin kymmenen vuoden välein mitatut VMI-aineistot osoittavat säännöllisen erirakenteisuuden olleen Suomessa 1900-luvulla hyvin yleinen metsän rakenne ja se on säilynyt ilman suuria muutoksia (Lähde ym. 1991, 1992b, Laiho ym. 1994, Norokorpi ym. 1994), vaikka toimenpiteet ovat olleet vastakkaisia (Lähde ym. 1999b).

Käytännön metsätaloudessa erirakenteiskasvatuskin on luonnollisesti alttiina monenlaisille häiriöille. Niistä tärkein liittyy uudistumiseen. Se saattaa ajan oloon tyrehtyä, jolloin tuottavuuskin kääntyy laskuun. Uhka lienee selvin tuoreiden kasvupaikkojen kliimaks-kuusikoissa, jotka aikaa myöten saattavat ”väsyä” niin uudistumaan kuin kasvamaan. Tällöin on aika edistää voimakkaasti hakkuin uudistumista lehtipuustolle ja/tai männylle sekä niiden alle samanaikaisesti tai aikaa myöten taimettuvalle kuuselle. Tätä luontaista puulajikehitystä myötäillen voidaan jatkuvaa kasvatusta käyttäen nostaa suuri osa valopuustosta tukkikokoon ja sen jälkeen asteittain kuusta. Uutta nuorennosta tarvitaan vasta alikasvoksen alkaessa ehtyä. Lienee helppo nähdä, että alikasvokselliset puustot ovat jatkuvan kasvatuksen parhaita aloituskohteita.

4 Ruotsissa ja Norjassa vanhoja harsintakoealoja

Ruotsissa ja Norjassa on ollut muutamia pitkäkhön aikaa seurattuja erillisiä ilmeisesti erirakenteisena kasvatukseen tarkoitettuja koealoja. Valitettavasti näiden koealojen puustoja (Lundqvist 1989, Andreassen 1994) on useissa tapauksissa ja vaiheissa käsitelty vastoin alkuperäistä suunnitelmaa. Niitä on myös hylätty. Itse asiassa Lundqvistin mukaan (sähköpostikeskustelu 2010) kokeiden alkuperäinen käsittelytavoitekaan ei ollut selkeä. Kyse ei ole ollut modernista jatkuvasta kasvatuksesta vaan jostain muusta metsän käsittelystä.

Lundqvistin väitöskirjan (1989) aineistona oli 13 vanhaa koealaa, joista 11 sijaitsi Keski- ja Pohjois-Ruotsissa ja 2 Etelä-Ruotsissa. Näistä Suomen oloja vastaavista 11:sta viittä seurattiin 30–63 vuotta noin 1980 asti. Muiden seuranta lopetettiin jo selvästi aikaisemmin. Perustamisvaiheessa vain kahdella koealalla puuston runkolukujakauma oli selvästi laskeva eli metsä oli säännöllisen erirakenteista. Kuudella koealalla oli hakattu yli 40 % alle 8,5 cm läpimittaisista puista. Siten oli heikennetty rakenteen jatkuvuutta ja puun tuotosta. Rakenne- ja tuotosvertailusta puuttui lisäksi pienen puuston osuus.

Puutteista huolimatta Lundqvist kirjoitti, että puuston rakenne sekä sen tasainen ja korkea kasvu sekä hyvä uudistuminen on ollut mahdollista säilyttää ainakin viitisenkymmentä vuotta. Runkolukujakauman (laskeva kuvaaja) ja keskimääräisen tilavuuden ($>150 \text{ m}^3/\text{ha}$) perusteella voidaan arvioida, että vain viisi koealaa 11:sta täytti säännöllisen erirakenteisen metsän kriteerit. Niistä Lundqvistin mukaan kahden kasvupaikka vastasi tasarakenteisen puuston tuotoskykyä $6,1 \text{ m}^3/\text{ha/v}$ ja kolmen tuotoskykyä $3,5 \text{ m}^3/\text{ha/v}$. Nämä koealat kasvoivat juuri saman verran eli 6,0 ja

3,7 m³/ha/v. Lundqvistin alkuperäiset päätelmät hyvästä tuotoksesta olivat siten aineiston puutteista huolimatta oikeita. Ruotsalaiset tuotos- ja talousvertailut (Wikström 2008) perustuvat juuri tähän Lundqvistin julkaisemaan aineistoon eikä niistä ole eritelty pois poikkeavasti hakattuja koealoja. Raporttia ei ole julkaistu tieteellisesti tarkastetussa sarjassa. Näiden koealojen on väitetty kasvavan ja tuottavan huomattavasti nopeammin kuin kymmeniä vuosia myöhemmin erilaisissa ilmasto-oloissa ohjeiden mukaan onnistuneiden tasarakenteisten puustojen. Suomessa huhtikuussa 2010 pitämässään esitelmässä Lundqvist totesi Wikströmin arvion vastaisesti, ettei hän näe merkittäviä riskejä jatkuvan kasvatuksen laajamittaisessa käyttöönotossa.

Eriksson on pitänyt Ruotsissa seminaariesitelmän (2007) kahdeksan rakenteeltaan erilaisen puuston arvioidusta tulevasta tuotoksesta. Sen mukaan erirakenteisena kasvatus tuottaisi tuhansien eurojen tappion hehtaarilla kiertoajan kuluessa tasarakenteisiin verrattuna. Näitä tekijän itsensä erittäin alustaviksi kertomia tuloksia, jollaisia ei yleensä vielä pidetä tieteellisesti relevanttina tietona, ei olisi aihetta kommentoida, ellei Suomen Metsäyhdistys olisi tiedottanut niistä tieteellisenä totuutena (Mäntyranta 2009). Eriksson on muun muassa lisännyt tasarakenteisessa vaihtoehdossa laskentaan hypoteettisen jalostuslisän. Lisäksi hänen koealojensa puustoja on vaikea tunnistaa Suomessa jatkuvalla kasvatuksella käsitellyiksi metsiksi. Uusimmista hyvin järjestetyistä kenttäkokeista on Ruotsissakin saatu kasvutuloksia (Hagner 2004, Lundqvist ym. 2007), jotka kumoavat em. arvioiden perustan.

Norjassa on 1920- ja 1930-luvuilla perustettu 16 koealaa (Andreassen 1994), joista kuitenkin vain seitsemää seurattiin 1990-luvulle asti. 13 koealalla runkolukujakauma vastasi koetta aloitettaessa säännöllisen erirakenteista puustoa, mutta vain 11 koealalla lähtöpuusto oli >150 m³/ha. 13 koealaa on seurannan aikana hakattu niin voimakkaasti, että tilavuus putosi alle 100 m³/ha, joillakin kerroilla jopa alle 50 m³/ha. Koealojen puusto muistutti siten edellä kerrotun Sarvaksen tutkimuksen aineistoa. Useissa tutkimuksissa on todettu kasvun olevan riippuvaista puuston tilavuudesta (Lähde 1994a,b, 2002a, Chrimes 2004, Saksa 2004). Vain neljä koealaa täytti runkolukujakauman muodon ja puuston tilavuuden (>150 m³/ha) perusteella likimain säännöllisen erirakenteisena kasvatuksen kriteerit.

Andreassen kirjoitti tutkimuksensa tiivistelmässä, että keskimääräinen vuotuinen kasvu olisi ollut koko aineistossa 5,2 m³/ha. Oikea luku oli kuitenkin 5,5 m³/ha. Edelleen Andreassen kirjoitti, että keskikasvu (virheellinen 5,2) oli 15–20 % pienempi kuin kasvupaikkojen arvioitu kapasiteetti tasarakenteisena kasvatuksessa eli 6,1 m³/ha/v. Kuitenkin edellä kerrottujen onnistuneesti hoidettujen neljän koealan keskimääräinen kasvu (7,5 m³/ha/v) oli 23 % suurempi kuin em. kasvupaikkojen kapasiteetti. Andreassen (sähköpostikeskustelu keväällä 2010) tarkensi myöhemmin, että aiemmin esitetty ero johtui koejärjestelyjen puutteesta. Norjassa onkin Oslon pohjoispuolella laaja Glommenin yksityismetsien alue, jossa hyvien kokemusten vuoksi on siirrytty käyttämään erirakenteismetsätaloutta sekä mänty- että kuusimetsissä (esim. Ökseter ja Myrbakken 2005).

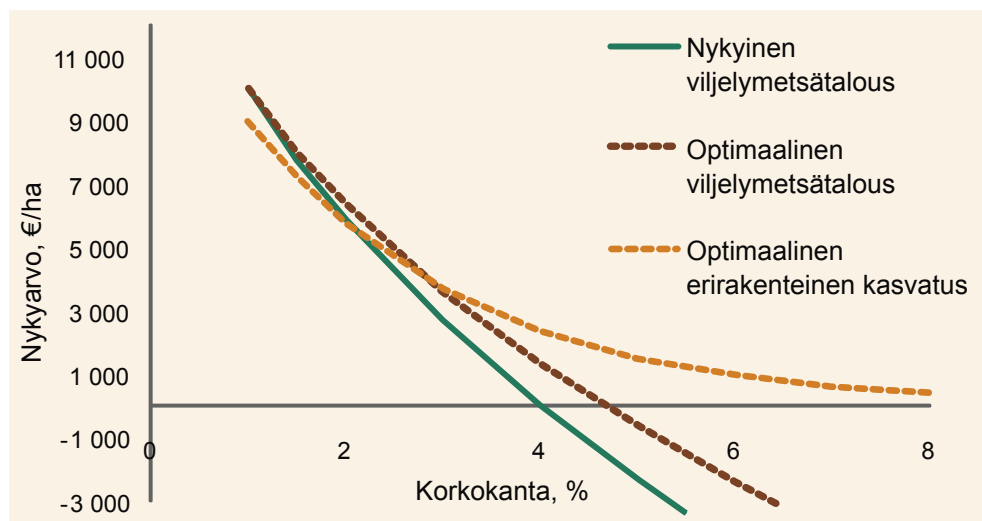
5 Viljelymetsätalouden kannattavuus heikko

Viljelyyn ja avohakkuuseen perustuvan tasarakenteiskasvatuksen kustannukset, tuotot ja kannattavuus tunnetaan varsin hyvin. Tiedetään esimerkiksi, että korkokannan suurentuessa vastaisten nettotulojen nykyarvo menee yleensä negatiiviseksi kasvupaikasta ja puun hinnasta riippuen 3–4 %:n korkokannalla (kuva 1). Jos metsää käsitellään nykyohjeiden sijasta taloudellisesti optimaalisesti, mutta viljely- ja taimikonhoitokulut eivät muutu, nykyarvo putoaa nolnaan 4–5 %:n korolla (esim. Hyytiäinen ja Tahvonen 2003). Toisaalta voidaan päätellä, että optimaalisessa jatkuvassa

kasvatuksessa nykyarvo on aina positiivinen. Kun metsää hakataan vain silloin, kun hakkuusta saadaan positiivinen nettotulo, vastaisten nettotulojen nykyarvo on positiivinen kaikilla korkokannoilla. Positiiviseen nykyarvoon päästään korkokannasta riippumatta myös silloin, kun avohakkuualan annetaan taimettua luontaisesti ilman maanpinnan käsittelyä ja taimikon hoitoa. Sitä kutsutaan tässä laajaperäiseksi eli ekstensiiviseksi metsänhoidoksi. Tällöinhän kustannuksia ei ole juuri lainkaan. Nykyarvo on kaikilla korkokannoilla positiivinen, jos hakkuun nettotulo on nollassa suurempi.

Edellisen perusteella voidaan päätellä, että optimaalinen jatkuva kasvatus ja em. ekstensiivinen metsänhoito tasarakenteiskasvatuksessa ovat nykyistä viljelymetsätaloutta kannattavampia ainakin jo 4–5 %:n korkokannalla. Tämän osoittamiseksi ei tarvita uusia kokeita, kasvumalleja tai simulointeja. Vaikka jatkuva kasvatus tuottaisi vain puolet nykyisten laskelmien osoittamista tuotoista, se olisi silti suurilla korkokannoilla kannattavampaa kuin nykyinen tasarakenteiskasvatus. Jos korkokanta on suuri ja halutaan harjoittaa tasarakenteiskasvatusta, ainoaksi kannattavaksi vaihtoehdoksi jää edellä kuvattu luontaiseen uudistumiseen perustuva ekstensiivinen metsänhoito. Vaikka metsikön luontaiseen taimettumiseen kuluisi 50 vuotta, se on suurella korkokannalla silti nykyisenkaltaista viljelymetsätaloutta kannattavampaa. Ei olisi edes mahdollista osoittaa, että nykyinen, avohakkuuseen, maanpinnan käsittelyyn ja viljelyyn perustuva tasarakenteiskasvatus olisi aina jatkuvaa kasvatusa edullisempaa. Varmuudella tiedetään, että suurella korkokannalla optimaalinen jatkuva kasvatus on kannattavinta (kuva 1).

Koska tasarakenteiskasvatuksen kannattavuus on huono jo silloin, kun nykyarvo on vain juuri ja juuri positiivinen, selvitettäväksi tutkimusongelmaksi jääkin lähinnä se, kuinka pienellä korkokannalla jatkuva kasvatus ja ekstensiivinen tasarakenteiskasvatus ovat yhtä kannattavia. Pukalan ym. (2010) laskelmissa jatkuva kasvatus oli Etelä-Suomen viljavimpia kuusikkoja lukuun



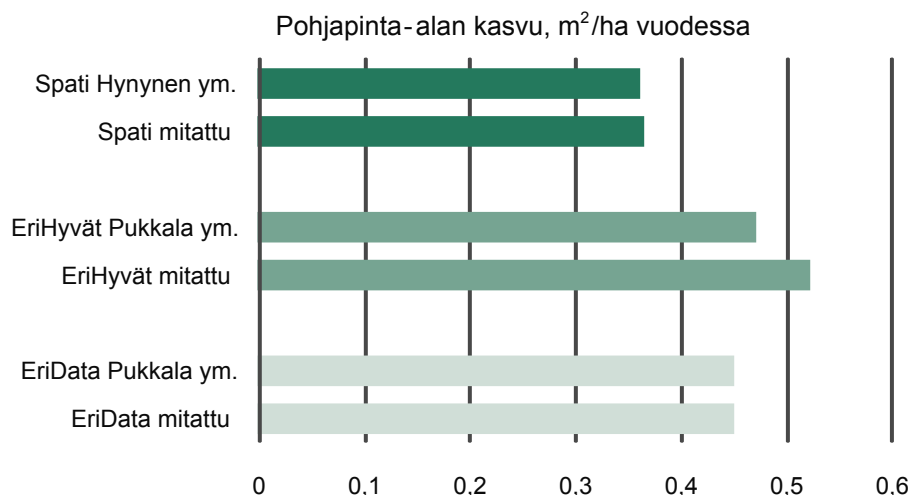
Kuva 1. Periaatteellinen esitys nykyohjeiden mukaisen viljelymetsätalouden, optimaalisen viljelymetsätalouden ja optimaalisen erirakenteiskasvatuksen kannattavuudesta eri korkokannoilla. Optimaalisessa viljelymetsätaloudessa oletetaan, että uudistamis- ja taimikonhoitokustannukset ovat samat kuin nykyohjeiden mukaisessa metsänhoidossa mutta hakkuut on optimoitu (ajankohta ja harvennustapa).

ottamatta tasarakenteiskasvatusta kannattavampaa jo 1 %:n korkokannalla. Hyytiäinen ja Haight (2009) laskivat, että erirakenteiskasvatusta oli Pohjois-Idahossa kaikilla tutkituilla puulajeilla viljelymetsätaloutta eli tasarakenteiskasvatusta kannattavampaa 3 %:n ja sitä suuremmalla korkokannalla. Optimaalinen istutustiheys pieneni arvoon 0 puuta/ha viimeistään korkokannan ylittäessä 5 %, toisin sanoen puuta ei kannattanut istuttaa, kun korkokanta oli korkea. Oman työnsä arvosta piittaamaton metsänomistaja voi toki tehdä kannattamatontakin työtä.

6 Tuottavuuden arviointi kasvumalleilla

Nykyisin tuottavuus- ja kannattavuuslaskelmia tehdään pitkäaikaisten kokeiden ohella usein myös simulointimalleilla. Tasarakenteisten metsiköiden kasvun simulointiin on kehitetty malleja (esim. Hynynen ym. 2002). Vuonna 2009 julkaistiin myös erirakenteisille metsille laajaan aineistoon (50 000 mitattua läpimitan kasvua) perustuvat kasvumallit (Pukkala ym. 2009). Jälkimmäiset mallit perustuvat kahdesta kenttäkokeesta (94 koealaa), kolmannen VMI:n koealoista (2040 koealaa) ja Pohjois-Karjalasta (158 koealaa) kertyneisiin mittauksiin. Malleja testattiin talvella 2010 riippumattomassa 140 koealan ja yhteensä 193 mittausjakson aineistossa, joka on kerätty runsaan 20 vuoden aikana eri puolille Etelä- ja Keski-Suomea perustetuista vaihtelevista erirakenteisista koealoista. Mallit ennustivat riippumattoman aineiston pohjapinta-alan kasvun keskimäärin täsmälleen oikein (kuva 2). Koska myös Hynynen ym. (2002) mallit toimivat riippumattomassa testiaineistossa hyvin, näihin kahteen malliin perustuvat vertailulaskelmatkin (esim. Pukkala ym. 2010) voidaan arvioida varsin luotettaviksi. On tosin huomattava, että jälkimmäiset mallit aliarvioivat sellaisten koealojen kasvua, joista vanha puusto on jo poistettu ja säännöllinen erirakenteisuus on saavutettu (EriHyvät kuvassa 2).

Erirakenteisen metsän kasvumallien mukaan niiden kestävä puuntuotos on varsin hyvä (taulukko 4). Parhaimmillaan se voi olla selvästi mallien osoittamia lukuja suurempi kuten kenttäkokeet (Lähde ym. 2010) ovat osoittaneet. Pukkalan ym. (2009) mallit perustuvat pääosin vanhaan



Kuva 2. Riippumattoman testiaineiston mitattu ja malleilla lasketun pohjapinta-alan kasvu. Hynynen ym. (2002) malleja on testattu 158 koealan aineistossa Pohjois-Karjalassa (Spati-aineisto, julkaisussa Anttila ym. 2001). Pukkalan ym. (2009) malleja on testattu 140 koealan aineistossa (EriData). Simuloitu kasvu perustuu läpimitan kasvumalliin, elossaolomalliin ja kynnykskasvumalliin. ”EriHyvät” tarkoittaa jatkuvan kasvatuksen (EriData) niitä koealoja, joissa säännöllinen erirakenteisuus on jo saavutettu lähes täysin (25 koealaa).

Taulukko 4. Erirakenteisen metsän maksimaalinen kestävä puuntuotos 20 vuoden hakkuukierrolla ($m^3ha^{-1}v^{-1}$) Pukkalan ym. (2009) mallien mukaan.

Maksimoitu muuttuja	Kuusi		Mänty	
	OMT	MT	MT	VT
	Etelä-Suomi (1300 d.d.)			
Puuntuotos	7.8	5.6	5.3	4.7
Tukkipuun tuotos	4.9	3.8	2.8	2.5
	Keski-Suomi (1100 d.d.)			
Puuntuotos	6.9	5.3	4.5	3.9
Tukkipuun tuotos	4.2	3.4	2.3	2.0
	Pohjois-Suomi (900 d.d.)			
Puuntuotos	5.8	4.8	3.6	3.2
Tukkipuun tuotos	3.2	2.8	1.7	1.5

(1951–1953) aineistoon. Mallien testaukseen käytetty aineisto sisältää lisäksi sekä hyvin että heikosti onnistuneet yritykset muuttaa metsiä säännöllisen erirakenteisiksi. Osassa kokeita valtapuultaan vanhaa puustoa on ryhdytty muuttamaan voimakkaalla hakkuulla selkeämmin säännöllisen erirakenteiseksi. Liian vanhoja puita ei voida enää kilpailevien puiden hakkuulla elvyttää.

7 Tarvitaan lisää tietoa korjuusta ja monikäytöstä

Imponen ym. (2003) on tehnyt laskelmia korjuu- ja hakkuukustannuksista erilaisissa kasvatuksissa ns. Monta-hankkeen tietojen perusteella. Niiden mukaan avohakkuu on hetkellisesti halvin ratkaisu. Se on kuitenkin vain yksi hakkuu tasarakenteisena kasvatuksen pitkässä kiertoaajassa. Harvennukset, erityisesti kasvatuksen alkuvuosikymmeninä ovat kalliita ja huonotuottoisia. Avohakkuussa hakataan ja raivataan usein runsaasti vain kustannuksia aiheuttavia pieniä puita ja taimia. Niinpä tutkimuksessa päädyttiin kiertoaikaa vastaavana ajanjaksona tulokseen, että jatkuvassa kasvatuksessa hakkuun ja korjuun kustannukset ovat keskimäärin halvempia kuin tasarakenteisena kasvatuksessa koko kiertoaajan aikana.

Monta-kokeiden työt tehtiin kuten toistaiseksi kaikissa muissakin vastaavissa kokeissa kalustolla, jota ei ole suunniteltu eikä rakennettu jatkuvaa kasvatus varten. Myöskään koneiden käyttäjiä ei ole koulutettu tällaisen vaihtoehdon käyttöön. Silti nykyisellä kalustolla ei tutkimusten (Surakka ja Sirén 2007) ja omien kenttäkoekokemustemme mukaan ole erityisiä ongelmia jatkuvan kasvatuksen hakkuussa. Kuitenkin vastaisuudessa tarvitaan menetelmien kehitys- ja tutkimustyötä. Erityisesti alikasvoksen ja taimien raivaus nykykäytännössä on tuhlavaa ja lyhytnäköistä. Siltäkin osin paremman hakkuu- ja korjuumenetelmän sekä käytäntöjen kehittäminen on erittäin tärkeätä ja kiireellistä. Raivauksen aiheuttamia menetyksiä kuvaa tutkimus (Isomäki 1979), jossa verrattiin männikön alla kasvanutta kuusialikasvosta ja sen vertailuksi istutettua männikköä. Tarkastushetkellä kuusikon valtapituus oli 13 metriä ja männikkö 1,3 metrinen. Männikön viljelykustannukset ylittivät päätehakkuun raivauksen ansiosta saadun lisätulon. Alikasvokselliset puustot ovat jatkuvan kasvatuksen parhaita kohteita ja niiden raivaaminen on valtava virhe. Alikasvoksen yleisyys ja merkitys on ollut tiedossa (esim. Mikola 1966, Laiho 1988), mutta korjuun koneellistuksessa tilanne on edelleen huonontunut. Motoryrittäjiä ei vaadita raivaamattoman puuston hakkuuseen. Ammattilehdet päinvastoin vaativat ennakkoraivausta. Tässä tilanteessa alikasvosta

säästävän korjuukaluston kehitystyökään ei edisty. Mitä parempi kalusto ja taitavammat kuljettajat, sitä vähemmin puustovaurioin ja alemmin kustannuksin alikasvoksellisten metsiköiden vaativasta korjuusta suoriudutaan.

Myös korjuukustannuksia voidaan arvioida kokeiden sijasta malleilla, jotka puolestaan perustuvat suureen joukkoon ajankäyttömittauksia. Esimerkiksi Rummukainen ym. (1995) ovat laatineet mallin, jossa puun käsittelyyn kuluva aika lasketaan käyttöosan tilavuuden funktiona ja lähikuljetukseen kuluva aika puutavaralajin (tukki/kuitu), kertymän (m^3/ha), maastokuljetusmatkan ja maaston kulkukelpoisuuden (maastoluokka) funktiona. Jos metsäkuljetusmatka on 100 m ja maasto helppoa, saadaan taulukon 5 osoittamat kustannukset. Laskelman mukaan erirakenteisen metsän hakkuu on kalliimpaa kuin tasarakenteisen avohakkuu, mutta halvempaa kuin sen harvennushakkuu. Harvennushakkuun kustannusero johtuu hakattavien puiden kokoeroista.

Ennen kaikkea sulan maan aikaisilla hakkuilla on lisätty laho-ongelmia metsissä. Erityisen suuri ongelma on juurikäpää. Jos sen saastuttama kuusikko uudistetaan uudelleen havupuulle, se leviää myös uuteen puusukupolveen. Ongelman suhteen erirakenteisen metsän hakkuu ei juuri eroa tasarakenteisen metsän harvennushakkuusta. Itse asiassa uutta tartunnalle altista kantopintaa on korjattua kuutiometriä kohti erirakenteisessa metsässä vähemmän kuin tasarakenteisessa. Näin ollen tasarakenteismetsätaloutta ei erityisesti voi puolustaa juurikäävän torjunnalla. Pahoin saastuneen metsän ensisijainen käsittely on kummassakin tapauksessa luontainen uudistaminen lehtipuulle.

Tutkimusta tarvittaisiin myös erilaisten käsittelymenetelmien vaikutuksesta metsien muihin käyttömuotoihin kuin puuntuotantoon. On selvää, että erirakenteismetsätalouden pitkän aikavälin hiilitase kestää vertailun tasarakenteiskasvatuksen kanssa. Erityisesti kuusikossa metsätalouden hiilitase maksimoituu kuitupuun korjuuta minimoimalla, sillä päinvastoin kuin tukki- ja energia-puulla, kuusikuitupuulla ei ole korvausvaikutuksia, joiden avulla fossiilisen hiilen päästöjä voi-

Taulukko 5. Esimerkkilaskelma tasa- ja erirakenteismetsätalouden hakkuukertymästä ja korjuun yksikkökustannuksesta (sisältää lähikuljetuksen) keskisuomalaisessa VT-männikössä ja MT-kuusikossa. Korjuukustannukset on laskettu Rummukaisen ym. (1995) malleilla, tasarakenteisen metsän kasvua on simuloitu Hynysen ym. (2002) malleilla ja erirakenteisen kasvua Pukkalan ym. (2009) malleilla, joissa hakkuukierto on 20 vuotta.

	VT-männikkö	MT-kuusikko
Ensiharvennus		
Tukkipuukertymä, m^3/ha	7	1
Kuitupuukertymä, m^3/ha	38	48
Korjuukustannus, €/m ³	14,0	15,6
Toinen harvennus		
Tukkipuukertymä, m^3/ha	33	38
Kuitupuukertymä, m^3/ha	33	51
Korjuukustannus, €/m ³	10,3	10,0
Päätehakkuu		
Tukkipuukertymä, m^3/ha	171	208
Kuitupuukertymä, m^3/ha	63	74
Korjuukustannus, €/m ³	6,4	6,2
Erirakenteismetsän harvennushakkuu		
Tukkipuukertymä, m^3/ha	53	64
Kuitupuukertymä, m^3/ha	56	39
Korjuukustannus, €/m ³	9,0	8,6

daan vähentää. Mekaanisen massan valmistus kuusikuitupuusta kuluttaa lisäksi erittäin paljon energiaa. Erirakenteiskasvatuksessa kuiturunkoja pyritään hakkaamaan mahdollisimman vähän. Miinan ym. (2009) mallien mukaan MT-kuusikon mustikkasato on parhaimmillaan, kun puuston pohjapinta-ala on 15–20 m²/ha. Optimaalisessa erirakenteiskasvatuksessa pohjapinta-ala on suurimman osan ajasta tällä välillä. Näillä malleilla voidaankin laskea, että erirakenteisen MT-kuusikon mustikkasato on pitkällä aikavälillä 2–3-kertainen tasarakenteisena kasvatukseen verrattuna. Silvennoisen ym. (2001) mukaan maisemallisesti kauniimpina metsiköinä pidetään kerroksellisia metsiä, joissa harvahkon kookkaan puuston alla on havupuualikasvosta. Paras puuston kokoja-kauma on positiivisesti vino eli säännöllisen erirakenteinen. Toisin sanoen runkoluvun tulee olla suurin pienimmissä läpimittaluokissa. Kookkaat männyt ja koivut parantavat maisema-arvoa.

Avohakkuu turmelee monen eliölajin elinympäristön vuosikymmeniksi. Metsikkötason lajistollinen monimuotoisuus on parhaimmillaan, kun metsikössä on jatkuvasti monenlaisia rakenteellisia elementtejä, kuten esimerkiksi eri puulajeja, latvuskerroksia ja erilaista lahonnutta puuta. Monen lajin kannalta erityisen arvokkaita ovat suurten lehtipuiden lahoavat rungot, joita aikanaan muodostuu esimerkiksi säästöpuista. Niitä voidaan erirakenteisessa kasvatuksessa jättää pystyyn samalla tavalla kuin tasarakenteiskasvatuksessa. Lehtipuuston jatkuvuus erirakenteisessa metsässä voidaan turvata siten, että jokaisessa hakkuussa osa metsiköstä hakataan vuorollaan niin harvaksi, että lehtipuusto pystyy uudistumaan ja varttumaan.

8 Päätelmiä

Pitkäaikainen tuotostutkimus on yhdessä ekonomisten laskelmien kanssa osoittanut, että nykyisen eli avohakkuuseen, viljelyyn ja alaharvennuksiin perustuvan metsätalouden kannattavuus on heikkoa. Kannattavuus heikkenee kasvupaikan tai puun hinnan huonontuessa, korkokannan suurentuessa tai kustannusten noustessa (esim. Tahvonen ym. 2010). Heikon kannattavuuden lisäksi nykymetsänhoito on huonoa myös hiilitaseeltaan, maisemavaikutuksiltaan ja ekologisilta seurauksiltaan. Se ei ole kulttuurisesti kestävä eikä vastaa suomalaisten suuren enemmistön näkemyksiä siitä, miten metsää saa käsitellä (Valkeapää ym. 2009). Julkisuudessa esitetyt ristiriitaiset tulokset suomalaisten tutkimusten sekä ruotsalaisten ja norjalaisten vanhoista koelajoista laskettujen tulosten ja tuottojen välillä osoittautuivat tarkemmassa tarkastelussa koejärjestelyistä ja tulkinnoista aiheutuneiksi. Eräät tutkijat luokittelevat erirakenteiskasvatukseen sopiviksi vain runkolukuja-kaumaltaan täydellisesti käännettyä J:tä muistuttavat puhtaat kuusikot. Vaikka maksimaaliseen tuotokseen pyrittäessä kannattanee tavoitella säännöllistä erirakenteisuutta, tutkijaryhmämme käsityksen mukaan jatkuvaan kasvatukseen sopivat kaikki metsiköt taimikoista varttuneisiin puustoihin ja kerroksellisista jatkuvarakenteisiin sekä puhtaista yhden puulajin metsiköistä sekametsiin, kun tavoitteena on pitää kasvupaikka jatkuvasti puustoltaan eriasteisesti peitteisenä.

Tutkimuksen tulisikin aktivoitua etsimään ensisijaisesti vaihtoehtoisia menetelmiä nykyiselle, yhä enemmän arvostelua osakseen saaneelle avohakkuuseen perustuvalla valtamenetelmälle (Valkeapää ym. 2009). Kysymykseen tulevat jatkuvan kasvatuksen lisäksi esimerkiksi pienaukkohakkuut, kaistalehakkuut, luontainen uudistaminen ja yleensäkin laajaperäisen metsän käsittelyn eri vaihtoehdot. Vaikka yksityiskohtaisia laskelmia ei olekaan tehty, ne melko varmasti osoittaisivat, että kasvupaikan heikentyessä ja korkokannan suurentuessa ensin tulee luopua viljelystä ja taimikon hoidosta, sitten maanpinnan käsittelystä tai ainakin keventää sitä merkittävästi. Tällaiset vaihtoehtoiset metsänhoidon menetelmät tulee ensi vaiheessa ottaa käyttöön Pohjois-Suomessa, turvemaiilla ja karuilla kasvupaikoilla.

Nykytuotoinen tasarakenteiskasvatus on melko joustamaton markkinatilanteen suhteen. Nykyisiä ja tulevia markkinoita ajatellen siinä keskitytään kustannuksista piittaamatta tuottamaan runsaasti sellun ja paperin valmistamiseen kelpaavaa havupuukuitua hyvälaatuisen tukkipuun sijasta. Maailman markkinatilanne näyttää kuitenkin yhä selvemmin muuttuvan siihen suuntaan, että sellun tuotanto keskittyy sinne, missä se on Suomea ja muita Pohjoismaita edullisempaa. Tässä kehitysvaiheessa kilpailuvaltiksi olisi otettava markkinoihin ja metsän kehitykseen nähden joustava jatkuva kasvatus, jolla voidaan varmistaa korkealaatuisen tukkipuun taloudellisesti järkevä tuottaminen. Samalla voidaan säilyttää metsien käyttökelpoisuus myös muihin tarpeisiin kuten luontomatkailuun, virkistykseen ja muiden metsäntuotteiden kuin puun tuottamiseen.

Kokeita ja tutkimusasetelmia suunniteltaessa on syytä käyttää mielikuvitusta ja mieltä puuntuotannon lisäksi kannattavuutta. Esimerkiksi siemen- ja suojuspuuhakkuussa siementämään ei kannata jättää suurilatvukaisia päävaltapuita, joiden jättäminen pienentää hakkuutuloja, suurentaa korkotappioita ja aiheuttaa suurimmat vauriot ylispuiden poistossa. Kun siemen- tai suojuspuuta poistetaan, kaato tulee tähdätä tiheimpiin taimiryhmiin, jolloin saadaan ilmaista harvennusta, eikä taimikkoa tarvitse tulla tämän jälkeen enää erikseen ”hoitamaan”. Jatkuvasa kasvatuksessa ajourat kannattaa sijoittaa metsikön runsaspuustoisimpiin kohtiin ja poistaa puita vain ajouralta ja sen läheltä. Näin minimoidaan korjuukustannukset ja -vauriot ja saadaan syntymään taimettumiselle otollisia pienaukkoja. Seuraavan hakkuun ajourat sijoitetaan sitten sinne, missä suurimmat puut ovat seuraavan hakkuun aikaan. Koska luontaiseen uudistumiseen perustuvat metsänhoitomenetelmät johtavat kannattavimmillaan heterogeeniseen metsikkörakenteeseen, tutkimuskoalojen tulee olla suuria.

Erilaisia kokeita esiteltäessä olisi vertailussa yleensäkin tärkeätä ottaa huomioon, miten tutkittua menetelmää on käytetty. Informaatio olisi kattavampaa ja erehdykset päätelmissä vähäisempiä, jos tarkasteltaisiin koko aineiston lisäksi erikseen myös poikkeavia, esimerkiksi hyvin ja huonosti onnistuneita koealoja. Vertailut eri tavoin käsiteltyjen puustojen keskimääriäisiin taulukkotietoihin pitäisi tehdä saman ilmastoajakson ajalta tai ainakin tuoda esiin ajankohtaerot. Tuotoserot pitäisi tarkistaa inventointiaineistoista. Kuudenkymmenen vuoden aikana on tilastojen mukaan tapahtunut huomattava ilmaston lämpeneminen ja kasvukauden pidentyminen (Hagner 2004, Contribution...2007). Samanaikaisesti hiilidioksidilannoitus on lisääntynyt voimakkaasti päästöjen vuoksi. Typpeä on levitetty myös saasteina huomattavia määriä kaikkialle. Happamalla sateella on liuotettu pääravinteita entistä nopeammin kiertoon. Tähän asti näiden vaikutusten voidaan arvioida olleen kasvupaikkoja rehevöittäviä, mikä näkyy esimerkiksi heinittymisen ja ruohottumisen nopeana voimistumisena pienissäkin metsän aukoissa.

Täystiheän kasvukykyisen puuston tuotos määräytyy lähinnä kasvupaikan ja puulajien mukaan. Näin ollen eri kasvatusmenetelmien välille tuskin saadaan huomattavia suuruusluokkaeroja. Muut kuin pelkät tuotoksenäkökohdat ratkaisevat silloin, mitä menetelmää pitäisi ensisijaisesti käyttää. Sitä paitsi suurimpaan tuotokseen pyrkiminen ei maksimoi taloudellista kannattavuutta. Metsän taloudellisesti järkevässä käytössä ei ole kyse puuston ja kasvun jatkuvasta lisäämisestä vaan niiden hakkuulla hyödyntämisestä. Taloudelliseen tulokseen vaikuttaa ratkaisevasti, hakataanko keskenkasvuista vai jo tukkipuun koon täyttäneitä puita. Kannattavuuden avaimia Suomen suhteellisen hitaasti kasvavissa metsissä ovat kustannusten minimointi ja hakkuiden tekeminen niin, että puuston arvoa pienennetään voimakkaasti mutta arvokasvua mahdollisimman vähän. Hyvään tulokseen päästään yläharvennuksilla tai jatkuvan kasvatuksen hakkuilla, kun niitä tehdään pääsääntöisesti silloin, kun saadaan riittävän runsas kertymä tukkipuuta.

Kirjallisuutta

- Andreassen, K. 1994. Development and yield in selection forest. *Meddelelser fra Skogforsk* 47(5):1–37.
- Anttila, P., Haara, A., Maltamo, M., Miina, J. & Päivinen, R. 2001. Metsän mittauksen tutkimusaineistoja. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 128. 9 s. + CD.
- Appelroth, E., Heikinheimo, O., Kalela, E.K., Laitakari, E., Lindfors, J. & Sarvas, R. 1948. Julkilausuma. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 11:315–316.
- Böhmer, J.G. 1957. Bledningskog. *Tidskrift för Skogbruk* 65: 203–247.
- Chrimes, D. 2004. Stand development and regeneration dynamics of managed uneven-aged *Picea abies* forests in Boreal Sweden. Ph.D. thesis. Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden. 25 s.
- Contribution of the working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2007. Solomon, S.D., Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K.B., Averyt, M.T. & Miller, H.L. (Eds.). Cambridge University Press. 996 s.
- Eerikäinen, K., Miina, J. & Valkonen, S. 2007. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated stands of southern Finland. *For. Ecol. Manage.* 242: 444–461.
- Eriksson, L. 2007. Lönsamheten av blädning i teori och praktik. Seminarieunderlag. Moniste.
- Hagner, M. 2004. Naturkultur. Mats Hagners Bokförlag, Umeå, Sweden. 124 s.
- Heikinheimo, O. 1924. Suomen metsien metsänhoidollinen tila. *Comm. Inst. For. Fenn.* 9(4): 1–12.
- 1956. Ruotsinkylän retkeilykohteiden selostukset. (täydentänyt v. 1971 R. Saarnio). *Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueita*. 2, Ruotsinkylä.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, H. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 835. 116 s.
- Hyytiäinen, K. & Haight, R.G. 2009. Evaluation of forest management systems under risk of wildfire. *Eur. J. For. Res.* DOI 10.1007/s10342-009-0278-2.
- & Tahvonen, O. 2003. Maximum sustained yield, forest rent of Faustmann: does it really matter? *Scand. J. For. Res.* 18: 457–469.
- Ilvessalo, Y. 1920a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. *Acta For. Fenn.* 15:1–157.
- 1920b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. *Acta For. Fenn.* 15:1–94.
- 1956. Suomen metsät vuosista 1921–24 vuosiin 1951–53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. *Comm. Inst. For. Fenn.* 47(1):1–227.
- Imponen, V., Keskinen, S. & Linkosalo, T. 2003. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa – kuusikoiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutukset puuntuotannon ja -hankinnan talouteen. *Metsätalon raportti* 163. 22 s.
- Isomäki, A. 1979. Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. *Folia Forestalia* 392:1–13.
- Laiho, O. 1988. Mitä tehdä alikasvoksille. *Metsä ja Puu* (9):34–35.
- & Lähde, E. 2001. Metsikön rakenteen määrittäminen runkolukujakauman perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2001:65–71.
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994. Varttuneiden metsiköiden rakenne 1950-luvun alussa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 495:90–128.
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1999. Metsän rakenne ja kehitys. *Julkaisussa* Lähde, E. (toim.). Luontaisesti syntyneiden sekametsien kehitys ja metsän hoito. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 719: 6–32.
- Lin, J., Laiho, O. & Lähde, E. 2010. Regeneration and recovery of understory after uneven-sized management in a *Picea abies* (L. Karsten) -dominated forest. *Käsikirjoitus*.
- Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog. *Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på*

- försöksytor skötta med stamvis blädning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogskötsel. Umeå. 99 s.
- & Fridman, E. 1996. Influence of local stand basal area on density and growth of regeneration in uneven-aged *Picea abies* stands. *Scand. J. For. Res.* 11: 364–369.
 - & Nilson, K. 2007. Regeneration dynamics in an uneven-aged virgin Norway spruce forest in northern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 22, 304–309.
 - , Chrimes, D., Elfving, B., Mörling, T. & Valinger, E. 2007. Stand development after different thinnings in two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden. *For. Ecol. manage.* 238:141–146.
- Lähde, E. 1991. *Picea abies* -dominated naturally established sapling stands in response to various cleaning-thinnings. *Scand. J. For. Res.* 6:499–508.
- 1992a. Luontaisen kuusivaltaisen taimikon kehitys lehtomaisella kankaalla. *Folia Forestalia* 793.
 - 1992b. Natural regeneration of all-sized spruce-dominated stands treated by single tree selection. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.), *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22–25 1992.* Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Reports 35: 117–123.
 - 1992c. Regeneration potential of all-sized spruce-dominated stands. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.), *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22–25 1992.* Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Reports 35:111–116.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1991. The structure of advanced virgin forests in Finland. *Scand. J. For. Res.* 6:527–537.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992a. Alternative silvicultural treatments as applied to advanced stands – research plan. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.), *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22–25 1992.* Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Reports 35:66–73.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992b. Stand structure of thinning and mature conifer-dominated forests in boreal zone. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.), *Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22–25 1992.* Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. Reports 35: 58–65.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994a. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Ann. Sci. For.* 51:97–109.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994b. Structure and yield of all-sized and even-sized Scots pine-dominated stands. *Ann. Sci. For.* 51:111–120.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1996. Monimuotoisuus metsikön rakenteessa ja tuotoksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 587:75–87.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. 1999a. Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. *For. Ecol. Manage.* 118: 223–243.
 - , Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999b. Ekometsänhoidon perusteet ja mallit. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 736. 61 s.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2001. Structure transformation and volume increment in Norway spruce -dominated forests following contrasting silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage.* 151: 133–138.
 - , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002a. Development of Norway spruce -dominated stands after single-tree selection and low thinning. *Can. J. For. Res.* 32:1577–1584.
 - , Eskelinen, T. & Väänänen, A. 2002b. Growth and diversity effects of silvicultural alternatives on an old-growth forest in Finland. *Forestry* 75:395–400.
 - , Laiho, O. & Norokorpi, Y. 2009. Hyvä metsänhoito. 47 s. Julkaisussa: Hyvä metsänhoito. Hyvönen, H. (toim.). *Ekometsätalouden liitto.* 95 s.
 - , Laiho, O. & Lin, J. 2010. Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies*. *J. For. Res.* 15:14–20.
- Mäntyranta, H. 2007. Jatkuva metsänkasvatus on hyvin tappiollista. Suomen Metsäyhdistys ry. Tiedote 13.09.2007.
- Miina, J., Hotanen, J.-P. & Salo, K. 2009. Modelling the abundance and temporal variation in the producti-

- on of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests. *Silva Fennica* 43: 577–593.
- Mikola, P. 1966. Alikasvosten merkitys metsien uudistumisessa. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 83(1):4–7, 16.
- 1984. Harsintametsätalous. *Silva Fennica* 18(3): 293–301.
- Nilsen, P. 1988. Selective cutting in mountain spruce forest – Regeneration and production after earlier cuttings. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 88.
- Nilson, K. 2001. Regeneration dynamics in uneven-aged Norway spruce forests with special emphasis on single-tree selection. Ph. D. thesis. Department of Silviculture, Swedish University of Agricultural Sciences. 24 s.
- Nilsson, N.-E. & Östlin, E. 1961. Riksskogstaxeringen 1938–1952. Statens skogsforskningsinstitut, avdelningen för skogstaxering. Rapporter 2. 162 s.
- Norokorpi, Y., Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 1994. Luonnontilaisten metsien rakenne ja monimuotoisuus Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 495:54–89.
- , Lähde, E. & Laiho, O. 1996. Puiden ja puuston kasvu tasarakenteisissa ja erirakenteisissa kuivahkon kankaan havu- ja sekametsiköissä Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 589: 107–119.
- O’Hara, K.L. 1996. Dynamics and stocking-level relationships of multi-aged Ponderosa pine stands. *Forest Science* 42(4): 1–34.
- 1998. Silviculture for structural diversity: A new look at multiaged systems. *Journal of Forestry* 96(7): 4–10.
- Poso, S. 2010. Pysyvä metsänpeitto metsän käsittelytapana Suomessa – taksaattorin näkökulma. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2010:88–89.
- Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *For. Ecol. Manage.* 258:207–216.
- , Lähde, E. & Laiho, O. 2010. Optimizing the structure and management of uneven-sized stands of Finland. *Forestry* 83:129–142.
- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1995. Wood procurement in the pressure of change – Resource evaluation model till year 2010. *Acta For. Fenn.* 248. 98 s.
- Saksa, T. 2004. Regeneration process from seed crop to saplings – a case study in uneven-aged Norway spruce-dominated stands in southern Finland. *Silva Fennica* 38(4):371–381.
- Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. *Comm. Inst. For. Fenn.* 33(1):1–268.
- 1948. Harsinnan ajatus kitkettävä ammattikunnastamme. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 11:325–328.
- Siiskonen, H. 2007. The conflict between traditional and scientific forest management in 20th century Finland. *For. Ecol. Manage.* 249:125–133.
- Silvennoinen, H., Alho, J., Kolehmainen, O. & Pukkala, T. 2001. Prediction models of landscape preferences at the forest stand level. *Landscape and Urban Planning* 56(1–2): 11–20.
- Skogsstatistisk årsbok 1989. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen. Jönköping. 300 s.
- Solano, J.M., Fernández, J., Palahí Lozano, M., Pukkala, T. & Prokofieva, I. 2007. Es rentable la gestión forestal en Cataluña? *Economistas*, ISSN 0212–4386, Año N° 25, N° 113: 116–124.
- Surakka, H. & Sirén, M. 2007. Poimintahakkuiden ja puunkorjuun nykytietämys ja tutkimustarpeet. *Metsätieteen aikakauskirja* (4):373–390.
- Tahvonen, O. 2009. Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. *Natural Resources Modelling* 22:289–321.
- , Pukkala, T., Laiho, O., Lähde, E. & Niinimäki, S. 2010. Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. *For. Ecol. Manage.* 260:106–115.
- Trasobares, A. & Pukkala, T. 2005. Optimising the management of uneven-aged *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. mixed stands in Catalonia, north-east Spain. *Annals of Forest Science* 61: 747–758.
- , Pukkala, T. & Miina, J. 2004. Growth and yield model for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain. *Annals of Forest Science* 6: 9–24.
- Uppskattning av Sveriges skogstillgångar verkställt åren 1923–1929, 1932. Redogörelse avgiven av rik-

- skogstaxeringsnämnden. Del I. Statens offentliga utredningar 26:1–264.
- Valkeapää, A., Paloniemi, R., Vainio, A., Vehkalahti, K., Helkama, K., Karppinen, H., Kuuluvainen, J., Ojala, A., Rantala, T., & Rekola, M. 2009. Suomen metsät ja metsäpolitiikka – kansalaisten näkemyksiä. Metsäekonomian laitos, Helsingin Yliopisto. Tutkimusraportteja 55.
- Valkonen, S., Sirén, M. & Piri, T. 2010. Poiminta- ja pienaukkohakkuut – vaihtoehtoja avohakkuulle. Metla ja Metsäkustannus.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Comm. Inst. For. Fenn. 99(1):1–271.
- Wikström, P. 2008. Jämförelse av ekonomi och produktion mellan trakthyggesbruk och blädning i skiktad granskog – analyser på beståndsnivå baserade på simulering. Skogsstyrelsen. Rapport 24. 48 s.
- Ökseter, P. & Myrbacken, S. 2005. Economy of selective cut compared with clear cut. Högskolen i Hedmark 13. 43 s.