

Pertti Harstela

## Taimikonhoidon vaikutus kuusen laatuun ja tuottoon

Tämän tarkastelun tavoitteena on saada kokonaisvaltainen näkemys kuusitaimikoiden tavantomaisen perkauksen ja ns. laatukasvatuksen vaikutuksista. Taimikonhoidon teknologiaa on vaikea kehittää, jos ei tiedetä taimikonhoidon vaikutuksia puuntuotannon tavoitteiden saavuttamiseen. Niinpä tässä yritetään luoda – joskin osin hypoteettinen – käsitys siitä, miten metsän varhaiskehitys vaikuttaa puun laatuun ja metsikön taloudelliseen tulokseen. Samalla paljastuu uusia tutkimustarpeita.

Puulle oletetaan tulevaisuudessa laatumaksutapa. Männyn osalta alkukasvatustiheyden on osoitettu vaikuttavan sahapuun laatuun niin voimakkaasti, että ns. laatukasvatusta lienee perusteltua. Sen sijaan kuusella tilanne on paljon epäselvempi. Tässä tarkastelussa pyritään kirjallisuudesta löytämään perusteita erityisesti sille, voidaanko kuusen laatua merkittävästi parantaa taimikon perkaus- ja harvennusajankohtaa viivästyttämällä, kun lopullinen kasvatustiheys perkauksesta ensiharvennukseen on nykysuositusten mukainen. Tarvittaessa tällöin on tehtävä myös varhaisperkaus ns. reikäperkauksena.

### Kasvatustiheyden vaikutus kasvuun ja tuotokseen

Istutustiheyden ei ole kuusella todettu vaikuttavan valtapituuteen ennen ensiharvennusta, mutta keskipituus on pienentynyt tiheyden kasvaessa (Pettersson 1992). Kokonaistuotos on lisääntynyt istutus-

tiheyden kasvaessa, mutta samalla keskiläpimitta alentunut ja huomattava osa kasvusta kohdistunut puihin, jotka eivät täytä nykyisiä ainespuun mittoja (Klem 1952, Nylinder 1959, Pettersson 1992). Petterssonin (1992) esittämistä ensiharvennusvaiheen runkolukusarjoista on laskettavissa, että yli 2000 taimen/hehtaari istutustiheyksillä kasvu huomattavalta osin realisoituu puustona, joka ei täytä 8 cm:n rinnankorkeusläpimittaa. Tätä tukee myös Stolte-Jørgensenin (1967) kirjallisuustutkimuksen yhteenvedo. Vuokilan (1980) mukaan Nynäsin kokeissa 1800 runkoa/ha saavutti 8 cm:n ja 1500 runkoa/ha 10 cm:n minimirinnankorkeusläpimitan. Vastaavat luvut maan eri osissa mitatuissa kertakoealoissa olivat 2400 ja 1800 runkoa/ha. Salminen ym. (1997) suosittelevatkin erilaisille kasvupaikoille perkauksen jälkeisiksi runkoluvuiksi 1500–2000 runkoa hehtaarille.

Edellä referoidut tutkimukset koskivat puhdasta kuusikkoa. Nykyohjeissa laatupuun kasvatustiheys saadaan yleensä aikaan koivusekoituksen avulla. Walfridsson (1976) ja Pukkala (1981) ovat todenneet myös lehtipuusekoituksen lukumäärän ja pohjapinta-alan kasvun vähentävän kuusitaimikon pituus- ja läpimittakasvua ja lisäävän kuusen taimien kuolleisuutta. Sen sijaan Linden (2002) ei havainnut koivusekoituksella vaikutusta kuusen läpimitta- ja pituuskasvun keskiarvoihin, mutta hänen kokeessaan kuusen ja koivun yhteenlaskettu runkoluku olikin samaa suuruusluokkaa eri käsittelyissä. Lisäksi koe perustettiin vasta kuusen 5–6 metrin

valtapituudessa.

Kasvatustiheyden suurentaminen edellä mainituista suosituksista johtaa siis vuosituotoksen alenemiseen. Tiheä kasvatusasento lisää myös korjuukustannuksia keskiläpimitan pienentymisen vuoksi. Vaikutus ensiharvennuksessa on Petterssonin (1992) aineiston mukaan laskettuna 1–2 euroa korjatulle kuutiometrille. Voidaan myös ajatella kasvun pienentymisen ja järeyskehityksen viivästymisen lisäävän kiertoaika.

Kasvatustiheys on istutustiheyskokeissa lisännyt kuusellakin pituus-/läpimittasuhdetta, mutta alle 10 vuoden iässä tehdyissä kokeissa kilpailu vaikutti sekä pituuden että läpimitan kehitykseen suhteellisesti suunnilleen yhtä paljon (Nilsson ja Gemmel 1993). Eroa selitettiin juuri aikaisella kehitysvaiheella ennen latvuksen sulkeutumista.

Taimikonhoidossa kasvatustiheys valitaan jo perkausvaiheessa ja osa jäävästä puustosta voi olla muuta kuin pääpuulajia. Myöhäinen perkaus lopulliseen kasvatustiheyteen 6–8 metrin valtapituusvaiheessa näyttää johtavan joko ainespuun määrän lievään alenemiseen tai runkojen järeytymisen viivästymiseen, joka voidaan kompensoida kiertoaika pidentämällä. Esimerkiksi Klemin (1952) tutkimuksessa läpimitan kasvuun voimakkaasti vaikuttava latvuston sulkeutuminen tapahtui kuusitaimikossa 4–5 metrin valtapituudessa. Tätä aikaisemmassakin kehitysvaiheessa on kilpailun todettu alentavan sekä keskipituuden että läpimitan kasvua (Nilsson ja Gemmel 1993).

Edellä mainittu sopii siihen, minkä Kellomäki (1991) esittää yleisenä lainalaisuutena: Vaikka puiden koon kasvaminen edellyttää jatkuvasti suurenevaa kasvutilaa, niin puuntaimet jo suhteellisen nuorina ovat sitä kookkaampia, mitä enemmän niillä on kasvutilaa. Iän mukana kokoerot eri kasvatus-tiheyksien välillä korostuvat.

### **Kasvatustiheyden vaikutus oksaisuuteen**

Oksakiehkuran oksien määrään ei taimikkovaiheen kasvatustiheydellä ole todettu olevan vaikutusta (Handler ja Jakobsen 1986, Johansson 1997), mutta yli 10 mm:n läpimittaisten oksien lukumäärä hieman lisääntyi kasvatustiheyden pienetessä (Johansson 1997).

Johanssonin (1997) referoimissa useissa tutkimuksissa on havaittu tyvitukin oksien läpimitan kasvavan kasvutilan lisääntyessä. Myös tyvitukin paksuimman oksan on todettu paksunevan tiheyden vähentyessä. Johanssonin (1997) tutkimuksessa ero kasvatustiheyksien 2 267 kpl/ha ja 3 086 kpl/ha välillä oli 0,9–1,4 mm. Koska tyvitukin alemmat oksat kuolevat verraten varhain, oli paksuin oksa suhteessa rinnankorkeusläpimittaan vain heikosti riippuvainen tiheydestä. Istutustiheydellä 2 267 kpl/ha paksuin oksa jäi keskimäärin alle 20 mm:n, mikä on pohjoismaisen laatuluokituksen raja suurimmalle sallitulle oksalle A-laadussa. Sen sijaan yli 4 000 kpl/ha kasvatustiheyksillä ei päästy alle 10 mm:n oksapaksuuteen, mikä on raja havuenerin laatuluokalle 1. Sen sijaan toisen laatuluokan yläraja alittui kaikilla kasvatustiheyksillä. Kasvupaikka G36 oli varsin hyvä, mikä viittaa siihen, että nykykäytännön mukaisilla kasvatustiheyksillä paksuin oksa ei ole erityinen ongelma.

Suurella kasvatustiheydellä oksat kuolevat varhemmin, mikä lisää laatua alentavien kuolleiden oksien osuutta lopputuotteessa (Braastad 1979). Samalla latvusraja tosin nousee ylemmäksi, mutta kuusella oksaton osa jää yleensä vain pintaosaan ja sillä on siten pieni merkitys mekaanisen teollisuuden kannalta (Kärkkäinen 1986). Oksamassan osuus runkomassasta on tärkeä laatutunnus varsinkin kuiduttavalle, mutta myös mekaaniselle teollisuudelle. Stolte-Jørgensen (1967) totesi oksien pinta-alan suhteessa rungon pinta-alaan vähenevän tiheyden kasvaessa, mutta alle 2 500 kpl/ha kasvatustiheydellä väheneminen oli hyvin pientä. Johanssonin (1997) mukaan oksamassan suhde runkomassaan on kasvatustiheydestä riippumaton.

Kun pyritään vähintään 1 800 kpl/ha kasvatus-tiheyteen, ei oksaisuus näytä tulevan suureksi ongelmaksi. Näin ollen myöskään perkaus- ja harvennusajankohdalla ei olisi kovin suurta merkitystä oksaisuuteen. Kuiduttavan teollisuuden kannalta alkukasvatustiheydellä ei ole vaikutusta oksaisuuteen, jos Johanssonin (1997) tulos oksamassan suhteesta runkopuomassaan on yleistettävissä. On myös huomattava, että perkaus ja harvennus vaikuttanevat oksien kasvuun vähemmän kuin alkukasvatustiheys, joka luontaisen lehtipuun vuoksi on yleensä suuri.

## Kasvatustiheyden vaikutus puuaineeseen

Johanssonin (1997) referoimien useiden tutkimusten mukaan puuaineen tiheys alenee vuosiluston leveyden kasvaessa. Istutustiheyden vaikutus välillä 1 600–4 500 kpl/ha oli kuitenkin vähäinen ja rajoittui tyvitukin sisäosiin (Johansson 1997). Näin sillä on vaikutusta massateollisuuden raaka-aineeseen vain ensiharvennuksessa. Tiheyden säteen suuntainen vaihtelu kuitenkin pieneni kasvatustiheyden kasvaessa. Koko rungon tilavuudella punnittu tiheys ei eronnut merkittävästi eri alkukasvatustiheyksillä (Johansson 1997). Klemin (1952) tutkimuksessa puuaineen tiheys oli suurinta istutustiheydellä 2 500 kpl/ha. Hän oletti vuosiluston leveyden ja kesäpuuosuuden negatiivista korrelaatiota, mutta tulokset eivät olleet aivan yksiselitteisiä.

Kesäpuun solut ovat pidempiä kuin kevätpuun. Tämän ja soluseinän paksuuden vuoksi hidaskasvuinen, suuremman tiheyden omaava puuaines tuottaa lujempia massoja (Kärenlampi 1992). Puun kasvun nopeutuminen lisää yleensä nuorpuun osuutta (Lindström 2002). Nuorpuu taas tuottaa massaan huonoja lujuusominaisuuksia, mutta sen valon sirontakyky on suurempi kuin pintapuun.

Ligniinin ja pihka-aineen osuus puuaineessa on hieman noussut istutustiheyden aletessa, mutta Klem (1952) ei pitänyt eroja merkittävinä, koska tulokset eivät olleet aivan johdonmukaisia. Myös lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys on hieman lisännyt ligniinin osuutta (Anttonen ym. 2002).

Kasvupaikan paraneminen eli puun kasvunopeuden lisääntyminen vähentää samassa läpimittaluokassakin kuoren osuutta runkopuuhun nähden (Östlin 1963). Näin myös suuremman alkukasvatustiheyden voi olettaa vaikuttavan kuoren osuutta nostavasti.

Väitetään, että puuaineen tiheys ja erityisesti kesäpuuosuus lisäävät voimakkaasti energian kulutusta mekaanisessa kuidutuksessa, jossa energian hinta on suurin yksittäinen kustannustekijä. Tutkimustulokset aiheesta ovat kuitenkin ristiriitaisia (Tyrväinen 1995). Joidenkin tutkimusten mukaan energian kulutus (*specific energy consumption*) kuusella TMP-prosessissa olisi suurimmillaan noin 350 kg/m<sup>3</sup> tiheydessä ja laskisi siitä molempiin suuntiin (de Montmorency 1965, Brill 1985). Jos tämä lainalaisuus pitää paikkansa, sattuu sekä

Johanssonin (1997) että Klemin (1952) tutkimusten mukaan alkukasvatustiheyden lisääntymisen aiheuttama puuaineen tiheyden lisäys laskevan energian kulutuksen alueelle. Kärenlampi (1995) on kuitenkin kirjallisuussynteessissään päätenyt siihen, että suuren tiheyden puuaineesta voidaan saada hieman suotuisampia lujuuden ja optisten ominaisuuksien yhdistelmiä kuin pienemmän tiheyden puuaineesta, mutta tämä saattaa edellyttää hieman suurempaa energian käyttöä massatonna kohti.

Muita vaikutuksia alkukasvatustiheyden lisäämisellä tiheimmäksi kuin 2 000 kpl/ha ovat taimien kuolleisuuden lievä kasvu (Pukkala 1981, Pettersson 1992) ja lumituhoriskin lisääntyminen (Braastad 1979). Suuren tiheyden voidaan myös olettaa lisäävän tuulituhoriskia. Ainakin metsikön myöhemmällä iällä on todettu tiheiden puustojen olevan riskialttiimpia myrskytuhoille harvennuksen jälkeen kuin väljempänä kasvaneiden (esim. Peltola 1995).

Alkukasvatustiheyden vaikutukset ovat osittain toisiaan kumoavia paperinvalmistuksen edullisuutta ajatellen. Esimerkiksi puuaineen tiheys ja toisaalta kasvun aleneminen ja kuoriprosentin kasvu ovat toisilleen vastakkaisia. Kasvunopeuden lisääntyminen ei vähennä puuaineen tiheyttä samassa suhteessa. Määräsuuruista luston paksuutta vastaa viljavilla paikoilla ja lannoituksen (NP-lannos) jälkeen tiheämpi puu kuin vähemmän viljavilla tai lannoittamattomilla (esim. Klem 1934, Madsen ym. 1978, Seibt ym. 1968, Madsen ym. 1985). Tiheys vaikuttaa erisuuntaisesti myös paperin lujuteen ja optisiin ominaisuuksiin.

Jos lopullinen kasvatustiheys valitaan jo taimikkovaiheessa, kuten myös laatuohjeissa esitetään, on alkukasvatustiheyden vaikutus puuaineen laatuun kaiken kaikkiaan vähäinen ja realisoituu kuitupuuksi vain ensiharvennuksessa. Ensiharvennuspuu taas voidaan käsitellä erillisenä segmenttinä paperinvalmistuksessa. Koska paperit voivat olla sekoituksia lujuudeltaan ja optisilta ominaisuuksiltaan erilaisista massoista, on vaikea tehdä taloudellista analyysiä taimikon alkukasvatustiheyden vaikutuksesta kuitupuun laatuun. Käsitely laatuohjeiden taloudellisuudesta lieneekin tämän hetkellä tietotasolla muodostettava sahapuun laadun perusteella.

## Kasvatustiheyden vaikutus sahapuun laatuun

Taimikkovaiheen kasvatustiheyden oletetaan vaikuttavan vain tyvitukin laatuun. Johanssonin (1997) tutkimuksessa hieman yli 40-vuotiaassa, viljavalla maalla (G36) kasvavassa kuusikossa tyvitukin saheissa oli u/s-laatua keskimäärin 15 % saheista, kun istutustiheys oli 4 444 kpl/ha ja 5 %, kun istutustiheys oli 2 268 kpl/ha. Järeeimmässä keskitavarassa, jossa alkukasvatustiheyden vaikutus parhaiten näkyy, u/s:n osuus tiheimmällä istutustiheydellä oli 25 % ja harvemmallalla 9 %. Kokeessa luontainen lehtipuoli perattu pois hyvin aikaisessa vaiheessa.

Lujuuslajittelutulokseen istutustiheyden vaikutus oli suurempi. T24 tai sitä parempaan luokkaan kuului 88 % istutustiheyden 4 444 kpl/ha saheista, kun vastaava osuus istutustiheydellä 2 268 oli 50 %. Lujuusluokkaa T30 oli tiheimmällä istutustiheydellä 28 % ja harvemmallalla 9 % saheista.

Klemin (1952) vastaavassa tutkimuksessa 2 500 kpl/ha istutustiheydellä sahatavaran laatu oli kokonaan 4. laatuluokkaa, kun 4 440 kpl/ha istutustiheydellä osa oli 3. ja osa 4. laatuluokkaa. Eron alkukasvatustiheyksien välillä voi olettaa pienenevän kiertoajan jatkuessa, koska tiheysero poistettiin jo taimikkovaiheessa. Johanssonin (1997) tutkimuksessa laatuero olikin selvästi suurempi järeeimmässä keskitavaroissa kuin pinnemmalta sahatuissa.

Lujuuslajittelutulos ei kuitenkaan kerro taipumarajoitteen täyttymisestä. Taipuma tullee ongelmaksi nykyisissä harvoissa kasvatuseroissa. Istutusmetsissä nuorpuun vaikutus on muuttunut niin, ettei lujouden ja jäykkyyden välillä ole lineaarista riippuvuutta kuten luonnonmetsissä (Matti Kärkkäinen, JoY, suull. lausunto). Asiaa ei voitane korjata ns. laatukasvatuksella, vaan on siirryttävä ydinvaraaseen sahaukseen. Silloin taloudelliseen tulokseen vaikuttaa merkittävästi ydinkappaleesta saatava hinta. Tästäkin ongelmakentästä tarvittaisiin tutkimuksia ja myös taloudellisia laskelmia.

Jäljimmässä, hypoteettisessa laskelmassa ei lujutta tai jäykkyyttä oteta hinnoitteluperusteeksi, vaan hinnoittelu perustuu pohjoismaiseen visuaaliseen luokitukseen. Tyvitukeista saatavasta sahatavarasta oletettiin kuuluvan A-laatuluokkaan laatukasvatuksessa 25 % ja tavanomaisessa 10 %. Varmuusperiaatteen mukaisesti tämä oletus suosi-

nee laatukasvatusta, koska edellä referoidut tulokset koskivat vain tyvitukkia ja kasvupaikka oli hyvin viljava.

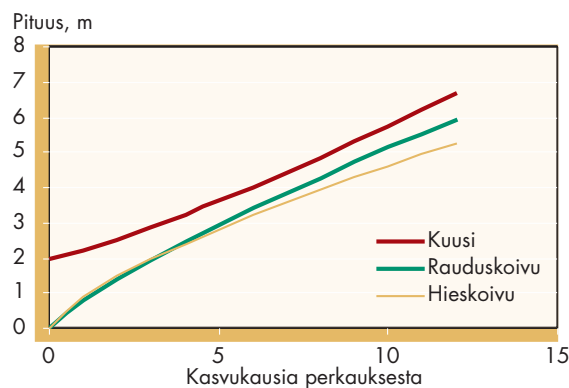
A-laatuluokan osuus saattaa kaiken kaikkiaan tuntua pieneltä. Esim. Verkasalon ym. (2002) tutkimuksessa A-laatuluokan osuus kuusisahatavarasta oli noin 50 %. Nykyinen käsitys eri laatuluokkien osuudesta ei kuitenkaan perustu viljelymetsiin, vaan pääosin luontaisesti syntyneisiin. Luontaisesti syntyneissä kuusikoissa u/s-laadun osuus oli Johanssonin (1997) tutkimuksessa selvästi suurempi kuin viljelymetsiköissä. On myös huomattava, että kuusella tyvitukista saadaan vähemmän terveoksaista saheita kuin muista tukeista (Verkasalo ym. 2002).

## Alkukasvatustiheys sekä metsikön terveydentila ja viljavuus

Istutustiheyden lisääminen on lisännyt tyvilahon osuutta kuusikossa (Johansson 1997). Kun suurempi alkukasvatustiheys pyritään laatukasvatuksessa saamaan aikaan lehtipuusekoituksella, ei tätä ongelmaa ole. Paremminkin koivusekoitus estänee kuusen taimien infektoitumista infektiopesäkkeiden ympärillä (Piri ja Korhonen 2003).

Runsaalla koivusekoituksella ja laatukasvatuksessa lehtipuuston ns. minikierrolla on oletettu olevan maata parantava vaikutus mm. lehtikarikkeen vuoksi. Lehtikarikkeet nostavatkin sekametsikössä pH:ta, mikä yhdessä valon kanssa lisää maaperän aktiivisuutta (esim. Tham 1988, Saetre ym. 1999). Varhaisvaiheen ”minikierron” pidentäminen eli suuren lehtipuuston runkoluvun säilyttäminen pitkempään laatukasvatuksessa kuitenkin estää valon pääsyä maaperään, joten edellä mainitut tutkimukset eivät suoraan ole sovellettavissa taimikon varhaiskehitykseen. Julkaisemattomien tulosten mukaan kuusikon valtapituus paranee harvemmassa kasvu-tilassa (Matti Kärkkäinen, suull. lausunto). Perinteisessäkin kasvatuksessa on ”minikierto”, joskin se on laatukasvatusta lyhyempi.

Ruotsalaisten ennakkotulosten mukaan koivusekoitus kuusikossa pienentää boorin puutoksesta aiheutuvaa kasvuhäiriöriskiä. Nykyisin metsiköihin varsin yleisesti jätetään täydennyspuina koivuja olipa taimikonhoitostrategia kumpi tahansa. Tosin laatukasvatuksessa nuorella iällä koivusekoitusta



**Kuva 1.** Kuusen ja vesasyntyisen koivun pituuskehitykset perkauksen jälkeen Björkdahlin (1983) mallien mukaan tuoreella kankaalla. Perkaus on tehty kuusen pituuden ollessa 2 m.

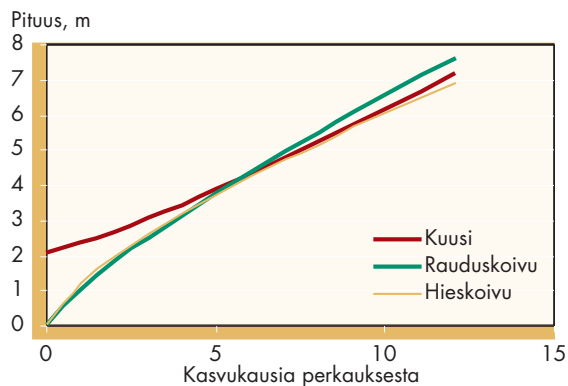
on enemmän. Pahoilla boorin puutosalueilla tämä ei kuitenkaan estäne kasvuhäiriöitä, vaan tarvitaan terveyslannoituksia.

Edellä on jo viitattu siihen, että tiheä kasvatusasento lisää lumi- ja tuulituhojen riskiä. Myös havupuutaimien kuolleisuus ja ranganvaihdoista johtuvat laatuviat lisääntyvät lehtipuuston määrän kasvaessa (esim. Pukkala 1981). Kaiken kaikkiaan varhaiskasvatuksen vaikutukset metsikön terveydentilaan ovat eri suuntaisia. Tämän vuoksi laatuksivatoksen mahdollista positiivista vaikutusta ei otettu huomioon taloudellisessa laskelmassa.

### Perkausajankohta

Perkauskustannukset ovat sitä pienemmät, mitä aikaisemmassa vaiheessa perkaus tehdään. Ennakkotulosten mukaan jo kahden vuoden viive voi aiheuttaa 20–30 %:n lisäkustannukset (Kiljunen ym. 2003). Toisaalta perkausta ei voi tehdä liian aikaisin, koska muutoin lehtipuusto nousee uudelleen häirtämään valtapuuston kehitystä.

Ruotsalaisten kantovesojen kasvumallien (Björkdahl 1983) mukaan koivu ei saavuta kuusen saamaa etumatkaa tuoreita kankaita vastaavilla boniteetilla, jos kuusen valtapituus perkaushetkellä on 1,5–2,0 m (kuva 1). Viljavimmilla mailla ja pohjoiseen mentäessä koivut voivat vielä kasvaa hieman etukasvuisiksi (kuva 2). Toisaalta Sauli Valkosen (Metla,



**Kuva 2.** Kuusen ja vesasyntyisen koivun pituuskehitykset perkauksen jälkeen Björkdahlin (1983) mallien mukaan lehtomaisella kankaalla. Perkaus on tehty kuusen pituuden ollessa 2 m.

suull. tiedonanto) julkaisemattomien tulosten mukaan ”nykytekniikalla” (mätästys ja paakuttaimet) kuusien alkukehitys on nopeampaa kuin ”vanhalla tekniikalla” (äestys), jota ruotsalaiset mallit edustavat. Näin ollen tavanomaisessa perkauksessa tuoreilla kankailla edullisimman perkausajankohdan ”nyrkisääntö” varovaisestikin ajatellen olisi kuusen taimien 1,5 m:n valtapituus.

Käytännön kokemuksen mukaan osa tuoreenkaan kankaan taimista ei saavuta 1,5 m:n pituutta ilman kasvun taantumista, jos ne sijaitsevat lähellä vesasyntyisiä lehtipuita. Voi myös olla niin, että lehtomaisilla kankailla ja kosteilla paikoilla ei yleensä voida jättää perkausta kuusen 1,5 metrin pituuteen ilman, että kuusen kasvu alkaa taantua ja vaarana on kaksijaksoinen metsä. Tämän vuoksi hyvään taimikonhoitoon kuuluu taimikon tarkastus ja varhaisperkaustarpeen toteaminen noin 5 vuotta istutuksen jälkeen. Lienee niin, että rehevimmillä ja kosteilla mailla perkaus joudutaan aina tekemään ainakin kahdessa vaiheessa.

Silloin kun varhaisperkaustarvetta on, taloudellisin vaihtoehto lienee varhaisperkaus reikäperkauksena ja perinteinen perkaus myöhemmin. Tosin kunnollisia tutkimuksia kuusitaimikoiden reikäperkauksen jälkeisestä kehityksestä ei ole. Tutkimuksen tulisi selkeämmin osoittaa ne olosuhteet, joissa tarvitaan aikaista perkausta ja mahdollisesti kaksi perkauskerää. Puuston varhaiskehityksestä kaiken kaikkiaan tarvittaisiin lisää tutkimustietoa.

Varhaisperkaus voitane tehdä kuusen taimien noin 1 m:n pituusvaiheessa, koska tuotantopuusto lopullisesti vapautetaan myöhemmin. Varjo sietävänä kuusi ei kärsine paljoa jäävän lehtipuuston lievistä etukasvuisuudesta, kun sen lähin ympäristö on reikäperkauksella vapautettu. Tähän viittaa Sauli Valkosen julkaisematon aineisto. Reikäperkauksessa kantovesat jäävät vielä sekä kuusten että perkaamattomien lehtipuuden väliin ja vesominen malleihin verrattuna lienee heikompaa.

Sauli Valkosen julkaisemattoman aineiston mukaan ”nykytekniikalla” istutetut kuuset jäävät samaan aikaan syntyneistä valtakoiuista jälkeen pituuskehityksessä enimmillään noin 2 metriä, mutta varhaisperkauksen jälkeen valtakouset saavuttavat koivujen pituuskehityksen noin 25 vuoden iässä. Tämäkin tukee sitä, että varhaisperkaus voidaan tehdä valtakoussien ollessa noin 1,0 m:n pituisia.

Kustannuslaskelmia varten olisi tarpeen tietää, missä oloissa ja missä kehitysvaiheessa tehdyn perkauksen jälkeen syntyy ensiharvennusta haittaava ”juurimetsä”. Ei myöskään tunneta erilaisen maanmuokkauksen vaikutuksia perattavan lehtipuuston syntyyn. Samoin ei tiedetä myöhäisen harvennuksen tarkemman ajankohdan vaikutusta puun tuotokseen ja laadun kehitykseen. Ns. kokeilutaksan mukaan perkauskustannukset nousevat selvästi siirryttäessä 3 cm:n kantoläpimitasta 4 cm:n läpimitaan eli noin neljästä viiden metrin keskipituuteen. Toisaalta itseharvenneminen vaikuttanee toiseen suuntaan, mutta senkin määrästä kaivataan tietoa.

Kantovesat ovat suurempi riski havupuille kuin siementaimet. Ne kasvavat nopeammin ja levittävät ryhminä latvuksensa leveiksi jättäen helpommin havupuita alleen. Vesasyntyistä puustoa lienee kuitenkin uudistusaloilla aikaisempaa vähemmän, koska hakkuukypsät metsät ovat tiheitä ja usein ennakkoraivattuja.

### **Esimerkkilaskelma tavanomaisesta ja laatu- kasvatuksesta**

Taimikonhoidon kannattavuuden vertailulaskelma taulukossa 1 perustuu moniin oletuksiin, joista vain osalle on vankkaa tutkimustustaa. Pyrkimyksenä oli operationalisoida tämän hetkistä tutkimustietoa keskustelun pohjaksi. Laskelma tehtiin havainnolli-

suuden vuoksi ensin ensimmäiselle kiertojalle, johon sitten lisättiin Faustmannilaisittain myöhempien kiertoaikojen tuotto maankorkoa kuvaamaan.

Laskelmassa tehtiin seuraavat oletukset:

- Tapaus koskee tuoreen kankaan istutusmetsää, jossa tehdään joko tavanomainen totaalinen perkaus n. 1,5 m:n valtapituudessa tai laatuksivatukseen tähtäävä perkaus 6 m:n valtapituudessa. Poistettavia koivuja on perkauksessa 6000 kpl/ha. Kummassakaan tapauksessa ei oleteta olevan varhaisperkaustarvetta. Ilmeisesti tuoreella kankaalla harvoin tarvitaakaan varhaisperkausta, jos uudistusalan raivaus on tehty. Olisi loogista ajatella, että myöhäistä perkausta käytettäessä varhaisperkaus tarvittaisiin useammin kuin aikaisessa perkauksessa. Tässä esimerkissä kuitenkin oletetaan varhaisperkaustarve samaksi, mikä suosinee laatuksivatustavoitetta.
- Laatuksivatuksen suuremman alkukasvatustiheyden oletetaan aiheuttavan 2 vuoden viiveen kasvussa, joten ensiharvennus tehdään tavanomaisen perkauksen jälkeen 30 vuoden iässä ja laatuksivatuksessa 32 vuoden iässä. Toinen harvennus on vastaavasti 50 ja 52 vuoden iässä ja päätehakkuu 70 ja 72 vuoden iässä. Hakkuumäärät oletetaan yksinkertaistaen kummassakin kasvatusvaihtoehdossa samoiksi vastaten Hynysen esittämää voimakkaan ensiharvennuksen ohjelmaa (Hynynen 2002).
- Alkukasvatustiheyden oletetaan vaikuttavan vain tyvitykin laatuun, jonka saheista laatuksivatuksessa on A-luokkaa 25 % ja tavanomaisessa 10 %. Kantohinnat vastasivat nykytasoa muuten, mutta tukeille oletettiin laatumaksutapa niin, että A-luokan ja muiden tukkien hintasuhde oli 133:100.

Nettonykyarvo vuotta kohden laskettuna ei juurikaan eroa näiden kahden varhaiskasvatustavan välillä 0-korolla, mutta jo pienikin korkovaatimus muuttaa kannattavuuden tavanomaisen kasvatuksen eduksi. Taimikonhoitokuluja enemmän tulokseen vaikuttaa puuston kehitysnopeus, koska kulut ovat varsin pienet kantorahaan verrattuna, vaikka realisoituvatkin aikaisin.

Tavanomainen menettely vaatii laatuksivatusta vähemmän sijoituksia puuntuotantoon. On huomattava, että laskelmassa oletettiin selvittävän yhdellä perkauskerralla. Tämä ei välttämättä ole relevantti oletus viljavimmilla ja kosteilla kasvupaikoilla tai muun lehtipuuston kuin koivun muodostaessa



**Taulukko 1.** Vertailulaskelma tavanomaisen ja laatukasvatuksen taloudellisuudesta.

	Tavanomainen perkaus 1,5 m:n valtipituudessa (ikä 7 v.)	Laatukasvatus: perkaus 6,0 m:n valtipituudessa (ikä 15 v.)
<b>Metsikön nettotulojen nykyarvo 0 %:n korolla:</b>		
<i>Metsänhoitokulut (e/ha):</i>		
Viljely	750	750
Perkaus	86	228
”Juurimetsän” perkaus 1. harvennuksessa	(83)	
Kulut yhteensä	836 (919)	978
<i>Kantorahat (kiertoaika 70/72 vuotta):</i>		
Harvennus	1200	1200
Harvennus	3899	3998
Päättehakkuu	14528	14858
Kantorahat yhteensä	19627	20056
<i>Nettotulojen nykyarvo (e/ha)</i>	18891 (19414)	19078
<i>Nettotulojen nykyarvo (e/ha/v)</i>	268 (267)	265
<b>Nettotulojen nykyarvo 3 %:n korolla:</b>		
1. Kiertoaika:		
<i>Metsänhoitokulut (e/ha):</i>		
Viljely	750	750
Perkaus	70	146
”Juurimetsän” perkaus 1. harvennuksessa	(34)	
Kulut yhteensä	820 (856)	896
<i>Kantorahat (kiertoaika 70/72 vuotta):</i>		
Harvennus	494	466
Harvennus	889	860
Päättehakkuu	1835	1770
Kantorahat yhteensä	3218	3096
<i>Nettotulojen nykyarvo (e/ha) (1. kiertoaika)</i>	2398 (2364)	2200
<i>Myöhempien kiertoaikojen nettotulojen nykyarvo (e/ha)</i>	347 (342)	292
<b>Nettotulojen nykyarvo (e/ha)</b>	2745 (2706)	2493

vesakon. Ehkä kaikkein ratkaisevinta laskelman merkitykselle on se, onko tulevaisuudessa tukilla todellinen laatumaksutapa ja korostuuko laadun merkitys nykyisestäään. Tällöin laatukasvatus olisi perustellumpaa kuin mitä oheinen laskelma osoittaa. Toisaalta esitetään myös näkemyksiä siitä, että kuusitukin pääasiallinen käyttäjä tulevaisuudessa olisikin paperiteollisuus.

Edellä esitetty laskelma on lähinnä keskustelun herättäjä, joka ei perustu kovin vahvaan tutkimusnäyttöön. Tutkimusnäyttöä tarvittaisiin muun muassa siitä, miten suurelle osalle pinta-alasta tarvitaan

varhaisperkausta erilaisissa maaperäoloissa ja onko varhaisperkaustarve pienempi silloin, kun lopullinen perkaus tehdään aikaisessa vaiheessa. Niissä oloissa, joissa tarvittaisiin lähes kaksi tai useampi perkaus, laatukasvatuskonsepti saattaa johtaa pienempiin perkauskuluihin.

Kun menettelytavan edullisuuden näyttää ratkaisevan asetettu korkovaatimus ja se, uskotaanko kuusitukin arvon ja hinnan tulevaisuudessa riippuvan nykyistä enemmän saatavan sahatavaran laadusta, täytyisi ratkaisu neuvonnassa jättää metsänomistajalle. Heillä voi olla muitakin perusteita valinnalle

kuin tämän hetkiseen hintatasoon perustuva kannattavuus. Tärkeintä lienee se, että taimikonhoito tulee ylipäättensä tehdyksi ajallaan. Päätösmenettely voisi tapahtua esimerkiksi seuraavasti:

- Metsänomistaja, joka asettaa sijoituksilleen edes jonkinlaisen korkovaatimuksen tai haluaa painottaa lähiajan menojen minimointia, mutta kuitenkin hoitaa hyvin metsiään, valitsee perinteisen perkauksen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Perusteena voi olla myös halu saada metsänsä ”kerralla kuntoon”.
- Metsänomistaja, joka haluaa jättää perinnöksi hyvää laatupuuta tuottavan metsikön ja joka uskoo hyvälaatuisen sahapuun suhteellisen arvon kasvavan tulevaisuudessa, valitsee laatukasvatuksen. Kustannustietoisena hänkin tekee varhaisperkauksen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Tämä sopii hyvin myös omatoimiselle ”metsäharrastajalle”, jolla on aikaa ja tahtoa hoitaa työt ”parhaalla mahdollisella tavalla”.

Tärkeää kuitenkin on taimikon kehityksen seuraaminen ja joko perkauksen tai varhaisperkauksen tekeminen viimeistään silloin, kun lehtipuusto alkaa merkittävästi haitata kuusen kasvua.

### Energiapuun kasvatust?

On esitetty, että laatukasvatuksen myöhäinen perkaus tuottaisi energiapuuta, koska varhaisperkaus edesauttaa varsinaisessa perkauksessa poistettavan puuston järeytymistä ja lisäksi poistettavat puut ovat sopivissa ryhmissä etäällä jäävistä kuusista. Näin korjuu voisi olla nykyisiä nuoren metsän kunnostushakkuita tuottavampaa.

Jos oletetaan energiapuun korjuun tapahtuvan noin 8 metrin valtapitusvaiheessa ja poistettavan lehtipuuston keskiläpimitta olevan 6 cm, on korjuu- ja kuljetuskulut käyttöpaikalla parhaalla nykytekniikalla eri lähteiden mukaan 14–17 euroa/MWh (Hämäläinen 2001, Laitila ja Asikainen 2002, Käyhkö 2002). Nykyisillä korjuu- ja energiapuun käyttöpaikkakustannus putoaa 10–13 euroon/MWh. Tämä on taso, joka on juuri ja juuri kilpailukykyinen muihin polttoaineisiin verrattuna pienehköissä lämpölaitoksissa, mutta ei suurkäytössä.

Korpilahden (2003) mukaan energiapuun korjuu

taimikoista tai ylitiheiden nuorten kasvatusmetsien harvennuksista ei ole ollenkaan kannattavaa, vaikka KEMERA-tuetkin otettiin laskelmiin mukaan. Kun huomioon otetaan vielä ajourien, korjuuvaurioiden ja ravinnepoistuman aiheuttama tuottotappio, tarvittaisiin kannattavaan energiapuun hyväksikäyttöön todella huomattava tukitason korotus tai päästökaupan tuoma lisäarvo. Näin perkauspuulle ei parhaassakaan tapauksessa voi ajatella merkittävää kantorahaa, vaan metsänomistajan hyötynä energiapuun korjuun kannattavuuden parantuessakin voisi olla perkauskulujen poisjäänti.

Ajourien tekeminen metsikköön varhaisessa vaiheessa ja ravinnetappio aiheuttavat kasvutappioita, jotka realisoituvat jo ensiharvennuksessa. Sirén (1998) on laskenut ajourien ja korjuuvaurioiden seurausvaikutusten nykyarvoksi ensiharvennuksessa 3 %:n korolla 146 e/ha. Jos tämä diskontataan edelleen perkausajankohtaan olisi kustannus 90 e/ha luokkaa.

Ensiharvennuksen seurausvaikutusten kustannukset eivät ole suoraan siirrettävissä taimikkovaiheeseen, mutta Eriksson ja Rytter (2000) ovat laskeneet kunnostushakkuussa samaa suuruusluokkaa olevan ajourien vaikutuksen. Heidän mukaansa ajourat vähentävät kasvua seuraavan 10 vuoden aikana noin 20 %. Tämän lisäksi he arvioivat ravinnetappioiden alentavan seuraavan 10-vuotiskauden kasvua 5 %. Kukkolan (2003) mukaan kasvatusmetsissä ravinteiden poiskulkeutumisen vaikutus kestää enemmän kuin 10 vuotta, mutta on kompensoitavissa lannoituksella. Lannoitus luonnollisesti aiheuttaa kustannuksia.

Edellä esitetystä tarkastelusta puuttuvat vielä koneiden aiheuttamien puusto- ja maaperävaurioiden vaikutukset. Näin ollen kasvutappiot ovat vähintäänkin samaa suuruusluokkaa kuin perkauksessa saavutettavat säästöt. Tilanne voi muuttua metsänomistajalle edullisemmaksi, jos varhaisperkauksen jälkeistä perattavaa puustoa voidaan ilman suuria tuottotappioita kasvattaa ensiharvennuksen asti ja tehdä integroitu ensiharvennus- ja energiapuun korjuu. Tällaisen menettelyn vaikutuksista tarvittaisiin lisätutkimusta.

Ruotsalaiset tutkijat suhtautuvat kielteisesti siihenkin vaihtoehtoon, jossa korjuu tapahtuisi jo 10 m:n valtapitusvaiheessa energiapuuhakkuuna. He huomauttavat, että tässä vaiheessa huonolaa-



tuiset ”susipuut” ovat vallanneet jo niin suuren kasvutilan, ettei niitä voi enää poistaa ilman pahaa aukkaisuutta (koskee erityisesti mäntyä). Lisäksi he toteavat järeyskehityksen viivästyvän ja kiertoajan kasvavan merkittävästi. Edelleen ajourat ovat systemaattista harvennusta ja jäävien puiden valinnalle jää vähän mahdollisuuksia. Tutkijat tyrmäävät menettelyn erityisesti kuusikoissa, koska pelkäävät tyvilahon iskevän korjuuvaurioista ja ajourien sekä ravinnetappioiden jo sinänsä aiheuttavan suuret kasvutappiot. He vaativatkin tarkempia laskelmia ennen tällaisten käsittelyvaihtoehtojen suositteleamista (Johansson 2000). Tähän voi yhtyä.

### Päätelmiä

Näyttää siltä, että kuusitaimikon kasvatuksessa on tärkeintä säilyttää tuotantopuuston hyvä kasvukunto. Sen vuoksi joko varhaisperkaus tai varsinainen perkaus on tehtävä varhain. Nykytiedon pohjalta ns. laatukasvatus on perusteltua vain, jos uskotaan sahapuun laadun merkityksen korostuvan tulevaisuudessa. Tämän vuoksi teknologiaa tulisi kehittää sekä varhaisperkausta että varhain tehtävää totaalista perkausta varten.

Kuusisahatavaran hyvä menekki viime vuosina on perustunut Venäjän lähes täydelliseen putoamiseen markkinoilta. Venäjä ja Itä-Eurooppa ovat tulossa takaisin ja omaavat ylivoimaisen hintakilpailukyyn. Suomalaisella raaka-aineella ei ole laatueta Venäjän luontaisesti syntyneisiin metsiin verrattuna, mutta keskieuropallaisiin metsiin laatuero on olemassa (Verkasalo ja Leban 2002). Yleisesti ottaen laatuero säilyminen ei kuitenkaan ole kiinni taimikkovaiheen kasvatustiheydestä.

Pöyryn laskelmien mukaan pitkälle jalostettuja paperituotteita valmistavalla teollisuudella on jo nyt yhtä hyvä puustamaksukyky kuin kuusitukkaa käytävällä sahateollisuudella (Hägglom 2003). Näin ollen tulevaisuudessa lienee vaneriteollisuuden jälkeen paras puustamaksukyky paperiteollisuudella. Tältäkö näkökannalta kuusen laatukasvatuksella ei näytetä saavutettavan suurta kilpailuetua.

### Kirjallisuus

- Anttonen, S., Manninen, A.-M., Saranpää, P., Kainulainen, P., Linder, S. & Vapaavuori, E. 2002. Effects of long-term nutrient optimisation on stem wood chemistry in *Picea abies*. *Trees* 16: 386–394.
- Björkdahl, G. 1983. Höjdtutveckling hos stubbskott av värt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion. Stencil 18. 54 s.
- Braastad, H. 1979. Vekst og stabilitet i et forbandsforsok med gran. *Meddelser fra Norsk Institutt for Skogforskning* 34(7): 174–215.
- Brill, J.W. 1985. Effects of wood and chip quality on TMP properties. International Mechanical Pulping Conference, May 6–10, Stockholm. s. 153–161.
- Eriksson, P. & Rytter, L. 2000. Bränsleuttag med drivare – ett alternativ till sen röjning i lövbestånd. *SkogForsk Resultat* 4. 4 s.
- Handler, M. & Jakobsen, B. 1986. Nyere danske planteavstandforsog med rodgran. *Det forstlige Forsoksvesen i Danmark* 40: 359–442.
- Hynynen, J. 2002. Haastattelu artikkelissa: Riikkilä, M. Iustuskuusikon ensiharvennuksessa. Säälly on sairautta. *Metsälehti* 24: 10.
- Hägglom, R. 2003. Millaista puuta suomalainen metsäteollisuus tarvitsee kotimaasta tulevaisuudessa? Alustus seminaarissa ”Metsänuudistamisen laatu – miksi se on tärkeää? Jaakko Pöyry Consulting. Espoo. 28 s.
- Hämäläinen, J. 2001. Ongelmakohteiden pienpuunkorjuuta kehitetään. *Teho* 4: 10–12.
- Johansson, K. 1997. Effect of early competition on wood properties of Norway spruce. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvicultura* 19. 31 s.
- Johansson, S. 2000. Högt spel med fina ungskogar. *Sko-gen* 11: 44–47.
- Kellomäki, S. 1991. Metsänhoito. *Silva Carelica* 8. 501 s.
- Kiljunen, N., Harstela, P. & Kaila, S. 2003. Ajoitus, kustannukset ja puun tuotto taimikonhoidossa. Kehittyvä puuhuolto 2003 – Seminaari metsäammattilaisille. *Metsäteho. Seminaarijulkaisu*. s. 50–54.
- Klem, G.G. 1934. Undersøkelser av granvirkets kvalitet. *Norske Skogforsøksvesen, Meddelanden* 5: 197–348.
- 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet. *Medd. Norske Skogforsøksv.* 11: 473–506.
- Korpilahti, A. 2003. Puupolitoaineen tuotantoketjujen kilpailukyky. Kehittyvä puuhuolto 2003 – Seminaari metsäammattilaisille. *Metsäteho. Seminaarijulkaisu*. s. 73–81.
- Kukkola, M. 2003. Vaikutukset metsämaan ravinteisiin ja

- puuntuotantoon. Kehittyvä puuhuolto 2003 – Seminaari metsäammattilaisille. Metsäteho. Seminaarijulkaisu, s. 87–93.
- Kärenlampi, P. 1992. Spruce wood fiber properties and mechanical pulps. *Paperi ja Puu* 74(8): 650–664.
- 1995. Mekaanisen massan puuraaka-aineen vaikutus puupitoisten painopaperien ominaisuuksiin. *Paperi ja Puu* 77(8): 472–478.
- Kärkkäinen, M. 1986. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. *Silva Fennica* 20(2): 117–127.
- Käyhkö, T. 2002. Polttoainepula kuristaa puuvoimaloita. *Tekniikka & Talous* 30: 10–12.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2002. Koneellinen energiapuun korjuu harvennusemetsistä. *Puuenergia* 3: 8–9.
- Linden, M. 2002. Increment in a recently established experiment with single-storied intimate mixtures of *Picea abies* and *Betula* spp. in Southern Sweden. Swedish University of Agricultural Science. *Silvestria* 260 (liite 3).
- Lindström, H. 2002. Intra-tree models of juvenile wood in Norway spruce as an input to simulation software. *Silva Fennica* 36(2): 521–519.
- Madsen, T.L., Moltesen, P. & Olesen, P.O. 1978. Tynningsstyrkens indflydelse på rødgranens rumtaethed, tørstofproduktion, grentykkelse og grenmaenge. *Forstlige Forsøgsvæsen Danmark* 36(2): 183–203.
- , Moltesen, P. & Olesen, P.O. 1985. Gødsknings indflydelse på rødgrans rumtaethed og tørstofproduktion. *Forstlige Forsøgsvæsen Danmark* 40(2): 141–171.
- Nilsson, U. & Gemmel, P. 1993. Changes in growth and allocation of growth in young *Pinus silvestris* and *Picea abies* due to competition. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 213–222.
- De Montmorency, W.H. 1965. The relationship of wood characteristics to mechanical pulping. *Canadian Pulp and Paper* 66(6): 325–348.
- Nylinder, P. 1959. Synpunkter på productionens kvalitet. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära. U2. 19 s.
- Peltola, H. 1995. Studies on the mechanism of wind-induced damage of Scots pine. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 32. 28 s.
- Pettersson, N. 1992. The effect on stand development of different spacing after planting and precommercial thinning in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga faculteten, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 34. 17 s.
- Piri, T. & Korhonen, K. 2003. Lahottajasiementien merkitys kuusikon uudistamisessa. *Julkaisussa: Luoranen, J. (toim.). Etelä-Suomen metsien uudistaminen. tutki-*
- musohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 888. s. 37–42.
- Pukkala, T. 1981. Nuoren viljelysekametsikön tuotos. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos. Pro gradu-työ. 86 s.
- Saetre, P., Brandtberg, P.O., Lundkvist, H. & Bergtsson, J. 1999. Soil organism and carbon, nitrogen and phosphorus mineralisation in Norway spruce and mixed Norway spruce–birch stands. *Biology and Fertility of Soils* 28(4): 382–388.
- Salminen, O., Valkonen, S. & Varmola, M. 1997. Taimikonhoito. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. Metsälehti Kustannus. 140 s.
- Seibt, G., Knigge, W., Reemtsma, J.B. & Ulrich, B. 1968. Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Düngungsmassnahmen auf Ertragsleistung des Fichtenbestandes. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 139(2): 25–37.
- Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.
- Stolte-Jørgensen, J. 1967. The influence of spacing on growth and development of coniferous plantations. *International Review of Forestry Research* 2: 43–94.
- Tham, A. 1988. Yield prediction after thinning of birch in mixed stands of Norway spruce and birch. The Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Forest Yield Research, Rapport 23. 36 s.
- Tyrväinen, J. 1995. Wood and fiber properties of Norway spruce and its suitability for thermomechanical pulping. *Acta Forestalia Fennica* 249. 155 s.
- Walfridsson, E. 1976. Lövets konkurrens i barkulturer. *Skogen* 63: 631–633.
- Verkasalo, E. & Leban, J.-M. 2002. Kuusitukkirunkojen laatu ja puuaineen mekaaniset ominaisuudet Suomessa ja Ranskassa. Teoksessa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 115–141.
- , Sairanen, P. & Melen, P. 2002. Kuusirunkojen ja -tukkien arvon riippuvuus metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista sekä runkojen ja niistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo perinteisessä ja erikoistuvassa sahausksessa. Teoksessa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 91–114.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Porvoo. 256 s.
- Östlin, E. 1963. Bark data for pine, spruce, birch etc. Part 2. Bark data for site- and age-classes and for sawlogs and pulpwood. Royal College of Forestry, Department of Forest Survey. Research Note 6. 120 s.