

Kuusen laatu ja arvo

Vuosina 1994-2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti

Pekka Saranpää ja Erkki Verkasalo (toim.)



Kuusen laatu ja arvo

Vuosina 1994-2001 toteutettujen tutkimusten
loppuraportti

Pekka Saranpää ja Erkki Verkasalo (toim.)

Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.) 2002. Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994-2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841. 139 s. + 2 liites. ISBN 951-40-1821-4, ISSN 0358-4283.

Julkaisuun on koottu sarja käsikirjoituksia, joissa esitellään Metsäntutkimuslaitoksessa viimeisen kymmenen vuoden aikana tehtyjä kuusen puuraaka-ainetutkimusten tuloksia. Artikkelit käsittelevät kuusen puun tiheyttä, sen riippuvuutta kasvusta ja tiheyden ennustettavuutta; puun lujuutta ja sen riippuvuutta puun tiheydestä kuusikoissa ja kuusi-koivusekametsissä; kuusen muodon- ja värimuutoksia kuivauksessa; oksikkuutta ja sen ennustamista sekä kuusen pystykarsintaa ja karsintatulosta. Tutkimuksen kohteena on ollut myös ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkien laatu- ja arvoerot; kuusirunkojen ja tukkien arvon riippuvuus metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista sekä kuusitukkien laadun vertailu Suomen ja Ranskan välillä. Useimmat artikkelit pohjautuvat tutkimuspäiviin, jotka pidettiin Lahdessa marraskuussa 2000.

Avainsanat: Puuntutkimus, puuraaka-aine, kuusi, puun ominaisuudet, laatu, arvo

Toimittajien yhteystiedot:

Pekka Saranpää, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, FIN-01301 Vantaa, puhelin: (09) 8570 5346; sähköposti: pekka.saranpaa@metla.fi; faksi: (09) 8570 5361

Erkki Verkasalo, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, FIN-80101 Joensuu, puhelin: (013) 251 4143; sähköposti: erkki.verkasalo@metla.fi; faksi: (013) 251 4111,

Hyväksyntä: tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 20.2.2002.

Julkaisija ja tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto/julkaisumyynti, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin: (09) 8570 5580; sähköposti: kirjasto@metla.fi; faksi: (09) 8570 5582,

Etukannen kuvat:

Ylhäällä vas. Hyvälaatuinen, viljava kuusikko Tuusulassa (kuva: Erkki Verkasalo)

Ylhäällä oik. Kuusen raaka-aineominaisuuksien tutkimiseksi käytettiin lähes koko runko erilaisiin näytteisiin (kuva: Pekka Saranpää)

Alhaalla vas. Kuivauskokeiden avulla selvitettiin kasvunopeuden ja lustonleveyden vaikutusta puun muodonmuutoksiin, kuten kieroutumiseen (kuva: Juha Metros)

Alhaalla oik. Tuoreena karsitut kuusen oksat kylestyvät nopeasti (kuva: Pekka Saranpää)

Sisällys

Alkusanat.....	4
Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu <i>Pekka Saranpää, Jaakko Repola ja Risto Ojansuu</i>	7
Kuusen oksikkuus ja sen ennustaminen <i>Harri Mäkinen, Pentti Sairanen ja Hannu Yli-Kojola</i>	19
Kuusisahatavaran muodonmuutokset kuivauksessa <i>Pekka Saranpää</i>	27
Kuusisahatavaran värimuutokset kuivauksessa <i>Jaakko Repola ja Veikko Tarvainen</i>	39
Kuusen pystykarsinta <i>Aili Tuimala, Jukka Lehtimäki, Jaakko Repola ja Pentti Sairanen</i>	49
Ensiharvennuskuusen raaka-aineominaisuudet <i>Pekka Saranpää</i>	61
Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot <i>Erkki Verkasalo ja Matti Maltamo</i>	71
Kuusirunkojen ja -tukkien arvon riippuvuus metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista sekä runkojen ja niistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa <i>Erkki Verkasalo, Pentti Sairanen ja Peter Melén</i>	91
Kuusitukkirunkojen laatu ja puuaineen mekaaniset ominaisuudet Suomessa ja Ranskassa <i>Erkki Verkasalo ja Jean-Michel Leban</i>	115
Liite. Tutkimushankkeiden ohjausryhmät ja vastuututkijat	140

Alkusanat

Kuusi on Suomen eteläosan tärkein puulaji. Se on vallitseva kolmasosalla metsämaata ja sen osuus puuston tilavuudesta on suhteessa vielä korkeampi, 42 %. Harsintametsätalouden satona aikoinaan syntyneitä kuivien maiden kuusikoita on jäljellä enää vähän, joten kuusen kasvukin on hyvä. Kuusen tukkipuuprosentti on puulajeistamme korkein, 48 %. Tämä kertoo menneiden vuosien järeiden kuusikoiden hakkuusäästöistä ja vanhojen kuusikoiden runsaudesta.

Tällä hetkellä kuusi on halutuin ja käytetyin puulaji metsäteollisuudessamme. On esitetty, että kaikki paperiteollisuutemme tuotteet voidaan tehdä mekaanisesta ja kemiallisesti kuidutetusta kuusesta, mikäli rungon eri osista saatava puuaine voidaan lajitella omiksi valmistuserikseen. Kuusen sahausmäärät ovat jo 1990-luvun alussa ohittaneet männyn ja ero on vain kasvanut viime vuosina. Kuusen käyttö vaneri- ja kertopuuteollisuudessa on yli kaksinkertaistunut kymmenessä vuodessa ja tulee edelleen kasvamaan ilmoitettujen investointien myötä. Puunkäytön kehityksen seurauksena hakkuut ovat viime vuosina olleet selvästi kuusipainotteisempia kuin suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa. Laskelmien mukaan kuusen hakkuumahdollisuudet ovat täydessä käytössä ainakin keskisessä ja itäisessä Suomessa. Kansantaloudestakin kuusi on ykköspuulajimme: suuntaa-antavan panos-tuotosanalyysin mukaan kuusesta riippui v. 1988 47 % koko maan metsätalouden, 45 % mekaanisen puunjalostuksen ja 38 % kemiallisen puunjalostuksen tulonmuodostuksesta.

Merkitykseensä nähden kuusen osuus suomalaisesta puutieteellisestä ja –teknologisesta tutkimuksesta on ollut huomattavan pieni mäntyyn ja koivuun verrattuna. Näin on ollut erityisesti mekaaniseen jalostukseen liittyvien ominaisuuksien, laadun, arvon ja käyttömahdollisuuksien tutkimuksessa. Ilmeisinä syinä tähän ovat olleet yhtäältä suurempi huoli muiden puulajien laadusta tulevaisuudessa, toisaalta arviot kuusesta lähinnä bulkkisahatavaran lähteenä, huippu- ja erikoislaatujen niukkuudesta ja laatuvaihtelun vaikeasta hallittavuudesta. Kuusen käytön lisääntyessä ja monipuolistuessa tietotarpeet raaka-aineesta ja sen tarkoituksenmukaisesta ohjauksesta eri lopputuotteisiin ovat kuitenkin kasvaneet koko ajan.

Metlan puuntutkimuksen tutkijaryhmässä reagoitiin kuusen laatu- ja arvotutkimuksen vähyyteen käynnistämällä useita erillisiä tutkimushankkeita 1990-luvun alusta lähtien. Vuonna 1994 aloitettiin laajat tutkimukset Etelä-Suomen tukkikuusikoiden puuaineen ominaisuuksista ja laadusta ja metsiköiden, runkojen ja tukkien teollisista laatu- ja arvosuhteista. Vuonna 1998 aloitettiin Bioenergiatutkimusohjelmassa tutkimukset kuusen kuituraaka-aineen ominaisuuksista ja laadun hallinnasta ja Wood Wisdom tutkimusohjelmassa kuusen puuaineen ominaisuuksien vaihtelusta ja vaihtelun syistä sekä kuusisahatavaran väri- ja muodonmuutoksista kuivauksessa. Lisäksi vertailtiin puhtaiden kuusikoiden ja kuusi-koivusekapuustojen kuusten sahapuuominais-

suuksia ja –laatua ja suomalaisten ja ranskalaisen tukkipuuston laatua ja puuaineen mekaanisia ominaisuuksia, tutkittiin alustavasti pystykarsittujen kuusitukkipuiden sisälaatua ja perustettu pysyviä kokeita vaurioriskin, kasvuvaikutusten ja laatu- ja arvo-odotusten määrittämiseksi.

Tutkimusten taustalla oli vahva mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuuden kiinnostus. Etelä-Suomen tukkiuusta ja kuusen kuituraaka-ainetta käsitelleille tutkimuksille muodostettiin ohjausryhmät, joissa oli laaja edustus kuusta jalostavasta teollisuudesta ja metsätalouden ja –teollisuuden kehittämisorganisaatioista. UPM-Kymmene Oyj Metsä, StoraEnso Oyj:n metsäosasto ja Metsäliitto Osuuskunta myös osarahoittivat tutkimusaineistojen keruuta vuosina 1994-95.

Näiden tutkimusten tuloksia esiteltiin yleisölle Metsäntutkimuslaitoksen Kuusen laatu ja arvo –tutkimuspäivässä Lahdessa 14.11.2000. Tämän julkaisun artikkeleissa esitellään laajasti tutkimuspäivän esitelmien sisältöä. Samalla julkaisu on Metsäntutkimuslaitoksen puuntutkimuksen viime vuosien kuusitutkimusten loppuraportti.

Tämän julkaisun toimittajina ja tutkimushankkeiden vetäjinä haluamme kiittää kaikkia tutkimuksiin osallistuneita ja erityisesti eri tutkimushankkeiden ohjausryhmätyöskentelyyn osallistuneita organisaatioita ja henkilöitä. Erikseen kiitämme tutkimusten rahoittajaorganisaatioita (Metsäntutkimuslaitos, Suomen Akatemia, Tekes, metsäyhtiöt) ja kaikkia Kuusen laatu ja arvo –tutkimuspäivän osanottajia.

Vantaa ja Joensuu, helmikuu 2002

Pekka Saranpää

Erkki Verkasalo

Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu

*Pekka Saranpää, Jaakko Repola ja Risto Ojansuu
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus*

Tutkimuksessa tarkasteltiin kuusen puuaineen tärkeimpiä ominaisuuksia, tiheyttä ja lujuutta. Työssä selvitettiin, miten tiheys vaihtelee rungon sisällä, runkojen välillä ja metsiköiden välillä sekä voidaanko tiheysvaihtelua selittää kasvunopeuden avulla. Aineisto kerättiin Etelä- ja Keski-Suomen alueelta ja mukana oli 48 metsätyypiltään ja uudistamistavaltaan erilaista metsikköä. Tarkoituksena on laatia malleja puuaineen tiheyden vaihtelusta rungon iän ja läpimitan perusteella. Lisäksi tutkittiin, onko sekametsien ja puhtaiden kuusikoiden välillä eroja puun lujuusominaisuuksissa.

Puuaineen tiheys kuvaa hyvin rungon käyttöarvoa sekä mekaanisessa että kemiallisessa puunjalostuksessa ja energiatuotannossa. Tiheyden kasvaessa puun lujuus paranee ja samoin sellun saanto. Kuiva-tuoretiheydellä tarkoitetaan puun kuivamasan suhdetta tuoretilavuuteen. Tiheyteen vaikuttavat lähinnä kuitujen seinämien ja soluonteloiden välinen tilavuussuhde sekä kuituseinämän tiheys. Kuituseinämän tiheys ei juurikaan vaihtele, joten suurimmat erot aiheuttaa seinämän paksuuden vaihtelu. Siihen vaikuttaa kasvunopeus. Leveälustaisen puun solut ovat yleensä ohutseinäisempiä ja paksuseinäisten kesäpuusolujen osuus on pienempi kuin hidaskasvuissa puussa.

Murtolujuus ja kimmomoduli ovat tärkeitä puun lujuusominaisuuksien tunnuksia. Puu on elastista ja kimmomoduli kuvaa puun kykyä vastustaa muodonmuutosta kuormituksessa. Kimmomoduli on maksimikuorma, jonka poistamisen jälkeen puu vielä palautuu entiseen muotoonsa. Murtolujuus kuvaa puun kykyä kantaa kuormaa. Näiden lujuusominaisuuksien tiedetään riippuvan puun tiheydestä: kevyt puu murtuu tiheää ja raskasta puuta helpommin.

I Aineisto ja menetelmät

I.1 Kuiva-tuoretiheyden vaihtelu

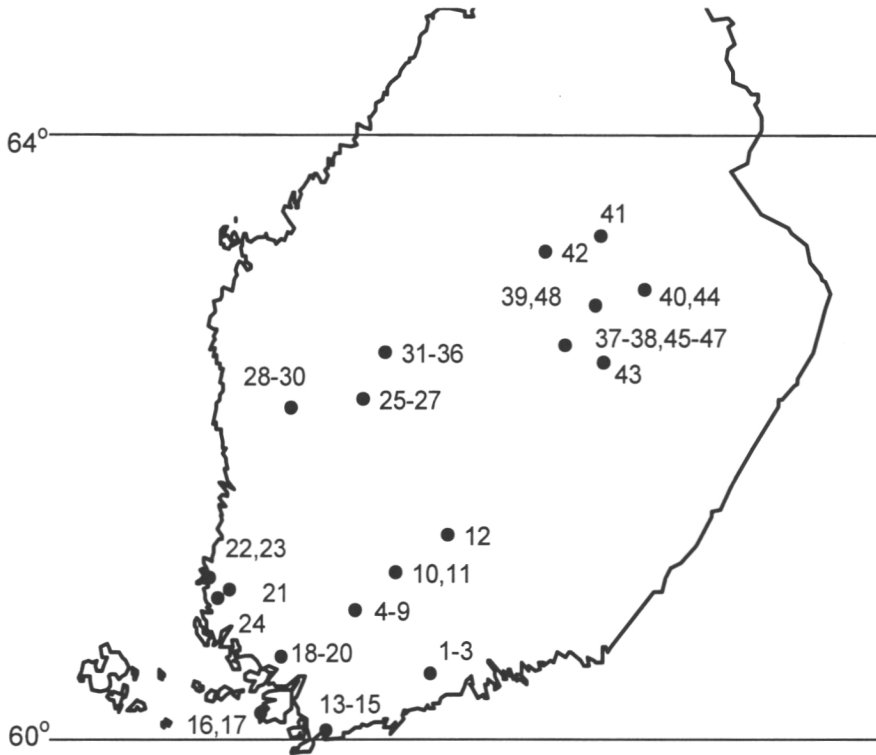
Tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa kuusen puuaineen tiheyden vaihtelu runkojen sisällä sekä metsiköiden välillä. Tarkoituksena on myös selvittää, voidaanko metsikkö- ja puustotunnuksien avulla selittää metsiköiden välistä kuiva-tuoretiheyden vaihtelua. Tiheyden vaihtelua rungon sisällä kuvattiin myös erilaisten mallien avulla.

Aineisto kerättiin 48 metsiköstä Etelä- ja Keski-Suomen alueella (taulukko 1 ja kuva 1). Mukana oli sekä kivennäis- että turvemaiden (11 kpl) kuusikoita ja vilja-

Taulukko 1. Kuusen laatututkimukseen käytetty aineisto. (Koealat on merkitty karttaan kuvassa 1. Syntytyapa 1 = luontainen, 3 = istutettu.)

Koeala	Metsä- tai suotyyppi	Syntytyapa	Ikä, v	Pituus H, dm	Läpimitta D _{1,3 m} , cm	Runkoluku N, kpl/ha	Pohjapinta-ala G, m ²
1	korpi, ojitettu	1	89	274	31,6	400	29,5
2	MT	1	102	253	28,7	333	27,7
3	MT	3	70	251	25,1	578	28,6
4	korpi, ojitettu	1	134	226	28,4	622	32,0
5	OMT	1	58	211	22,9	788	24,0
6	MT	3	58	206	22,2	600	19,7
7	OMT	1	113	261	41,1	120	16,5
8	MT	1	71	250	30,0	411	26,1
9	OMT	3	57	256	26,8	500	29,3
10	korpi, ojitettu	1	116	211	22,5	866	28,4
11	korpi, ojitettu	1	114	220	26,7	311	16,5
12	MT	3	81	250	25,5	666	31,8
13	korpi	3	55	236	26,5	556	29,5
14	OMT	1	72	203	27,4	944	30,1
15	OMT	1	76	230	24,3	478	28,1
16	OMT	1	64	246	25,9	700	31,5
17	MT	1	69	228	24,6	844	33,3
18	MT	1	65	206	22,2	533	19,9
19	MT	3	45	204	22,6	900	28,3
20	OMT	1	129	283	34,6	322	33,0
21	korpi, ojitettu	1	112	236	27,3	566	33,7
22	korpi	1	137	240	27,2	477	29,9
23	korpi	1	92	210	27,3	488	27,1
24	OMT	3	57	236	25,7	422	24,7
25	MT*	1	105	240	27,7	444	26,9
26	korpi, ojitettu*	1	122	202	25,3	678	23,3
27	MT*	1	96	235	25,0	544	27,5
28	MT	3	69	225	26,3	978	41,8
29	MT	1	128	202	25,8	755	22,5
30	MT	1	132	208	27,2	433	22,2
31	korpi, ojitettu	1	141	194	25,8	1633	36,4
32	MT	3	77	246	28,4	408	22,9
33	korpi, ojitettu*	1	122	227	27,2	567	31,7
34	MT, ojitettu	1	117	243	27,4	633	34,4
35	MT	3	63	183	21,4	1200	29,0
36	MT	1	80	240	32,3	655	41,3
37	MT	1	116	219	26,2	722	28,3
38	korpi, ojitettu	1	94	195	21,8	1400	28,6
39	OMT	3	65	266	34,1	556	37,9
40	OMT	3	70	273	32,8	433	32,9
41	OMT	3	75	229	29,0	478	28,1
42	OMT	1	93	220	26,7	622	26,5
43	OMT	3	55	215	22,6	644	21,6
44	OMT	1	115	219	23,0	911	29,6
45	korpi, ojitettu	1	110	196	23,7	1477	29,2
46	MT	1	98	237	27,0	1011	31,3
47	MT	1	101	240	29,4	955	32,3
48	korpi, ojitettu	1	108	222	26,9	555	27,2

* metsiköt lannoitettuja



Kuva 1. Koemetsiköiden sijainti. (Numerot viittaavat metsiköihin taulukossa 1.)

vuodeltaan erilaisia kasvupaikkoja (MT, OMT) ja sekä luontaisesti syntyneitä että viljeltyjä metsiköitä. Neljä koealaa oli myös lannoitettuja. Koeaineistoksi valittiin viisi tervettä valtapuuta kustakin metsiköstä (taulukko 2). Tutkittujen runkojen keski-ikä oli 91 vuotta ja rinnankorkeusläpimitta 27 cm. Tutkittujen runkojen määrä yhdestä metsiköstä jäi vähäiseksi (viisi puuta), joten metsiköiden välisestä vaihtelusta tai perinnöllisestä vaihtelusta on vaikea tehdä johtopäätöksiä. Tavoitteena olikin kuvata kuusen puuaineen ominaisuuksien vaihtelua talousmetsissä.

Rungoista sahattiin näytekiekot 1, 4, 8, 12 ja 16 metrin korkeudelta rungosta. Kiekoista sahattiin edelleen noin neljän cm:n levyinen kappale ytimen kautta pohjois-eteläsuunnassa. Näytekappaleesta mitattiin lustot molemmin puolin ydintä, jonka jälkeen etelä- ja pohjoispuoli jaettiin edelleen noin kolmen senttimetrin levyisiin koepaloihin. Niistä määritettiin sekä puuaineen kosteussuhde että kuiva-tuoretiheys upotus-punnitus menetelmällä. Näin saatiin kuvattua tiheyden vaihtelu sekä ytimestä pintaan että tyveltä latvaan rungon sisällä.

1.2 Lujuuden vaihtelu

Puuaineen lujuuden (kimmomoduli ja murtolujuus) tutkimiseksi kerättiin erillinen aineisto sekä kivennäismaiden puhtaista kuusikoista että koivu-kuusisekametsistä

Taulukko 2. Tiheysmittauksiin käytetty runkoaineisto. Yhteensä 48 leimikkoa ja 240 runkoa. Kuiva-tuoretiheys on keskimääräinen tiheys rinnankorkeudella rungossa.

	Keskimäärin \bar{x}	Min	Max	Hajonta s
Ikä, v	91	45	190	29
Pituus H_{dom} , m	22,9	16,7	29,6	3,0
Läpimitta $D_{1,3\text{ m}}$, cm	26,8	18,0	49,0	5,8
Runkoluku N , kpl /ha	669	120	1673	304
Kuiva-tuoretiheys, kgm^{-3}	380	310	448	29,3

karulta ja viljavalta kasvupaikalta. Koepuut kerättiin yhteensä 12 leimikolta Suomesta, Ruotsista ja Norjasta (tarkemmat tiedot löytyvät julkaisusta Bergstedt 2001). Hanke toteutettiin Pohjoismaisena yhteistyönä. Kultakin kohteelta valittiin valtapuista kuusi runkoa, ja virheettömät koekappaleet valmistettiin sekä tyvi-, väli-, että latvatuokeista sahatuista pintalaudoista. Yhteensä koepuita oli 72 ja virheettömiä näytteitä tutkittiin 432.

Pintalaudoista otetut näytteet sahattiin standardin mukaisiksi kappaleiksi (leveys kumpaankin suuntaan 20 mm, pituus 300 mm) ja testaus tehtiin 20 asteen lämpötilassa sekä 65 % suhteellisessa ilmankosteudessa. Mittaus tehtiin ISO-standardin mukaisesti (no. 2249). Lujuusnäytteiden ilmakeiveys (s_{12}) määritettiin mittaamalla kappaleen tarkat dimensiot ja paino 12 % kosteussuhteessa.

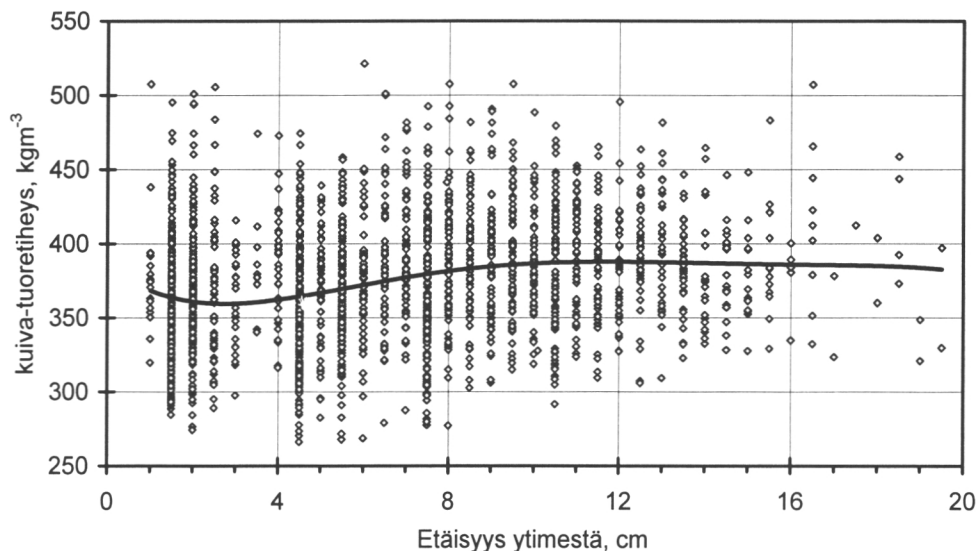
2 Tulokset ja niiden tarkastelu

2.1 Puuaineen kuiva-tuoretiheys

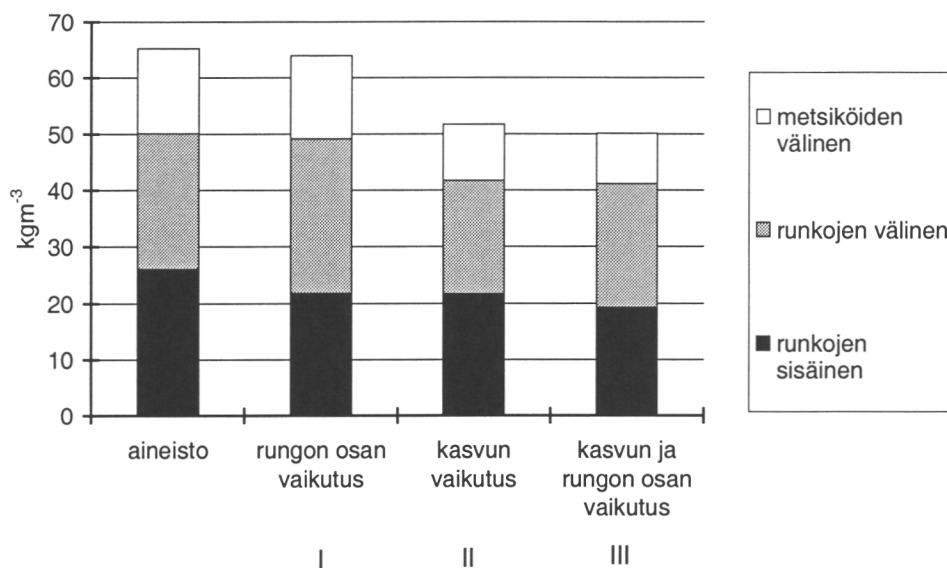
Kuiva-tuoretiheys rinnankorkeudella oli keskimäärin 380 kgm^{-3} ja se vaihteli välillä $310\text{—}448 \text{ kgm}^{-3}$. Tämä vastaa aikaisempien tutkimusten keskimääräistä tulosta kuusen kuiva-tuoretiheydestä (mm. Hakkila 1966, Hakkila & Uusvaara 1968). Ytimen ja pinnan välillä otetuissa näytteissä tiheys vaihteli jopa $260\text{—}486 \text{ kgm}^{-3}$ (kuva 2). Rungon etelä- ja pohjoispuolelta otettujen näytteiden välillä ei ollut merkittävää eroa tiheydessä (Boholm 1999).

Kuusirungon keskimääräinen tiheys kasvaa iän myötä (kuva 2). Kuusen tiheys saattaa kuitenkin vaihdella ytimen ympärillä niin, että tiheys ensin kasvaa, sitten laskee 5.—10. lustoon ja jälleen hieman kohoaa ytimestä pois päin siirryttäessä (kuva 2, Saranpää 1994). Kuusen nuori eli ydinpuun rajana onkin pidetty sitä lustoa, missä tiheys saavuttaa alimman arvonsa. Täksi rajaksi on saatu kymmenes lusto ytimestä (Danborg 1994).

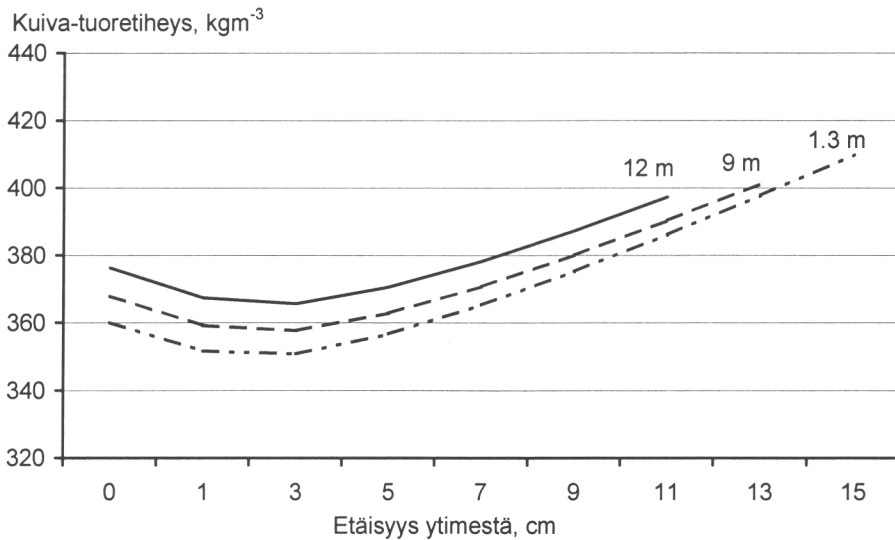
Tiheyden vaihtelua tarkasteltiin varianssikomponenttianalyysin avulla (kuva 3). Tiheyden vaihtelu jaettiin kolmeen eri osaan: 1) rungon sisäiseen, 2) runkojen väliseen ja 3) metsiköiden väliseen. Runkojen sisäinen vaihtelu tarkoittaa vaihtelua puun ytimestä pintaan sekä eri korkeudella rungossa otettujen näytteiden välillä. Tiheyden



Kuva 2. Kuusen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu tutkituissa 240 rungossa, jotka olivat 48 leimikolta Etelä- ja Keski-Suomen alueelta. Mitattu rinnankorkeudelta (1,3 m). Keskimääräiseksi tiheydeksi rinnankorkeudella rungossa saatiin 380 kgm^{-3} (310—448 kgm^{-3}).



Kuva 3. Puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelun (hajonta) jakaantuminen metsiköiden väliin, runkojen väliseen ja runkojen sisäiseen vaihteluun aineistossa ja kolmessa eri mallissa (I, II ja III). Malli rungon osan vaikutuksesta kuvaa eroja tiheydestä puun ytimen ja pintaosien välillä sekä eri korkeudella runkoa. Malli kasvun vaikutuksesta kuvaa lustonleveyden vaikutusta tiheyteen. Parhaiten metsiköiden ja runkojen välisiä eroja tiheydessä selitti kasvun vaikutus eli luston leveys. Huomattava osa vaihtelusta jäi kuitenkin selittämättä kaikissa malleissa.



Kuva 4. Kuusen kuivatuoretiheyden muutos ytimestä pintaa kohden eri korkeudella rungossa.

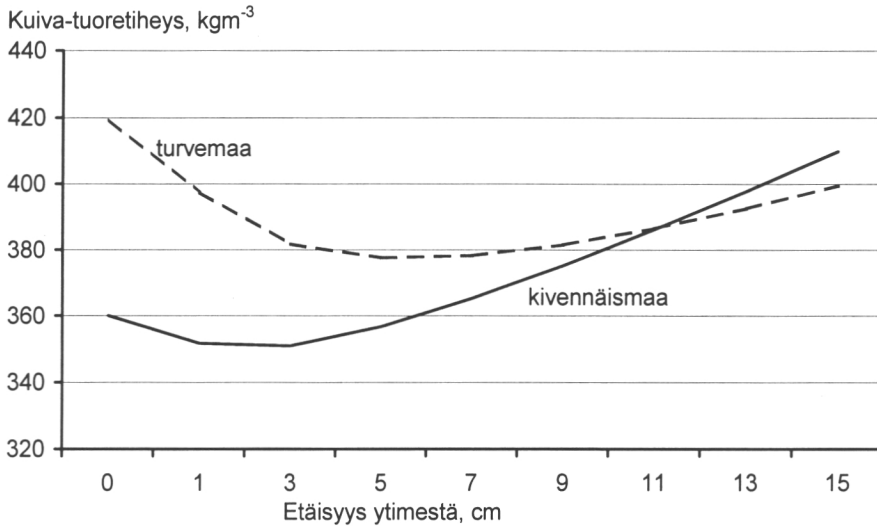
vaihtelua pyrittiin selittämään kolmen eri mallin avulla. Malli rungon osan vaikutuksesta kuvaa eroja tiheydestä puun ytimen ja pintaosien välillä sekä eri korkeudella runkoa. Malli kasvunopeuden vaikutuksesta kuvaa lustonleveyden vaikutusta tiheyteen. Kolmannessa mallissa yhdistettiin molempien vaikutus.

Rungon sisäinen tiheyden vaihtelu oli tutkitussa aineistossa lähes yhtä suuri kuin runkojen välinen vaihtelu (kuva 3). Runkojen sisäistä vaihtelua selittävä malli vähensi kokonaisvaihtelua vain vähän. Tärkein vaihtelun selittäjä oli kasvunopeus eli lustonleveys (kuva 3). Se pienensi etenkin metsiköiden välistä vaihtelua. Kun em. malliin lisättiin vielä puun osan vaikutus, vaihtelu pieneni enää vain vähän (kuva 3).

Tämän perusteella rungon läpimitan lisäksi myös iän tunteminen tarkentaa kuivatuoretiheyden ennustetta. Suurin osa vaihtelusta jää kuitenkin selittämättä. Syynä saattaa olla perinnöllinen vaihtelu.

Lisäksi laadittiin malli tiheyden muutoksesta puun ytimestä pintaan sekä eri korkeudella rungossa (kuva 4). Keskimääräinen kuivatiheys aleni ensin kasvoi puun ytimestä pintaan nuor- eli ydinpuuvyöhykkeessä ja kasvoi sen jälkeen pintaan päin. Latvaosien tiheys oli hieman korkeampi kuin tyviosan (kuva 4). Ero oli lähes 20 kgm^{-3} ytimen lähellä ja pieneni hieman pintaosia kohden.

Puuaineen tiheyden vaihtelua tarkasteltiin myös eri kasvupaikkojen välillä. Kasvupaikan viljavuuden paraneminen alensi puuaineen tiheyttä. Tiheysero lehtomaisen ja tuoreen kankaan välillä oli $10\text{--}20 \text{ kgm}^{-3}$ sekä tuoreen ja kuivahkon kankaan välillä 10 kgm^{-3} . Suurin ero oli turvemaiden ja kivennäismaiden välillä (kuva 5). Turvemaiden kuusien ydinpuun suuren tiheyden syynä saattaa olla hidaskasvunopeus alkuvaiheessa sekä lyly, joka on normaalia puuainesta tiheämpää. Ero oli huomattava, aivan ytimen lähellä jopa 60 kgm^{-3} .



Kuva 5. Kuusen kuiva-tuoretiheyden muutos ytimestä pintaa kohden turve- ja kivennäismailla rinnankorkeudella rungossa.

2.2 Lujuus

Virheettömien kuusinäytteiden keskimääräinen kimmomoduli (MOE) oli 12,6 GPa ja murtolujuus (MOR) 82,3 MPa (taulukko 3; Saranpää & Repola 2001). Aineiston ilmakeivatiheys oli keskimäärin 462 kgm³ ja kuivatuoretiheys 375 kgm³. Näytteet olivat pintalaudoista eli pintapuun uloimmista osista. Tämä siksi, että ne olivat helpommin verrattavissa keskenään. Ydinpuun sisällyttäminen tutkimusaineistoon olisi lisännyt vaihtelua ja vaikeuttanut tulosten tulkitsemistä.

Lujuusarvot vastaavat aikaisempia tutkimuksia. Wagenführin (1996) mukaan keski-eurooppalaisen kuusen kimmomoduli on 11,0 GPa (7,3—21,4) ja ilmakeivatiheys 470 kgm³ (330—680). Männyn lujuus on samaa luokkaa. Kimmomoduli on keskimäärin 12,0 GPa (6,9—20,1) ja ilmakeivatiheys 510 kgm³ (220—890). Rauduskoivu (*Betula pendula*) on hieman raskaampi ja samalla kestävämpi puulaji. Sen kimmomoduli vaihtelee välillä 14,5—16,5 GPa ja ilmakeivatiheys on keskimäärin 650 kgm³ (510—830) (Wagenführ1996).

Taulukko 3. Kuusen tiheyden, lustonleveyden, kesäpuuprosentin sekä lujuuden vaihtelu. Aineisto käsitti yhteensä 432 näytettä pintalaudoista, jotka oli sahattu yhteensä 72 rungosta (Saranpää & Repola 2001).

	Keskimäärin	Min	Max	Hajonta
Ilmakeivatiheys (ρ_{12}), kgm ⁻³	462	328	611	46
Kuiva-tuoretiheys, kgm ⁻³	375	260	486	37
Lustonleveys, mm	2,3	1,1	5,4	0,8
Kesäpuu, %	15,2	3,3	39,6	6,7
Murtolujuus, MPa	82,3	36,7	119,0	12,5
Kimmomoduli, GPa	12,6	6,8	17,9	2,0

Sekametsistä ja puhtaista kuusikoista kootun aineiston riippuvuus puun tiheydestä oli samansuuntainen (kuva 6). Murtolujuutta selitti erinomaisesti puuaineen tiheys ($R^2=0,80$ eli tiheys selitti keskimäärin 80 % lujuuden vaihtelusta). Murtolujuus kasvoi suoraviivaisesti tiheyden kasvaessa. Viidenkymmenen kilon kasvu ilmakeivatiheydessä, joka vastaa noin neljänkymmenen kilon eroa kuivatuoretiheydessä, kasvattaa murtolujuutta lähes 13 MPa. Sekametsissä vaihtelu oli hieman suurempaa, joten selitysaste jäi hieman alhaisemmaksi (75 %) kuin kuusikoissa (82 %). Norjalaisen tutkimuksen mukaan kuusen lujuusominaisuudet olivat samaa luokkaa kuin tässä tutkimuksessa ja myös lujuuden riippuvuus tiheydestä oli samansuuntainen (Flaete & Kucera 1999).

Kimmomoduli (kuva 7) vaihteli huomattavasti enemmän kuin murtolujuus (kuva 6). Puun kimmoisuuteen vaikuttavat tiheyden lisäksi myös muut, solutason ominaisuudet. Tiheys selitti vain 48 % kimmomodulin vaihtelusta, mutta riippuvuus oli suoraviivainen, kuten murtolujuudenkin.

Aineistosta tehdyn sahatavaran lujuuslajittelu (Flaete ym. 2001) antoi myös samansuuntaisen tuloksen kuin pienten virheettömien näytteiden testaaminen. Keskimääräinen tiheys oli samaa luokkaa kaikissa metsiköissä mukaan lukien kuusikot ja koivu-kuusisekametsät, joten merkittäviä eroja lujuudessakaan ei ollut.

2.3 Tiheyden ja lujuuden riippuvuus luston leveydestä

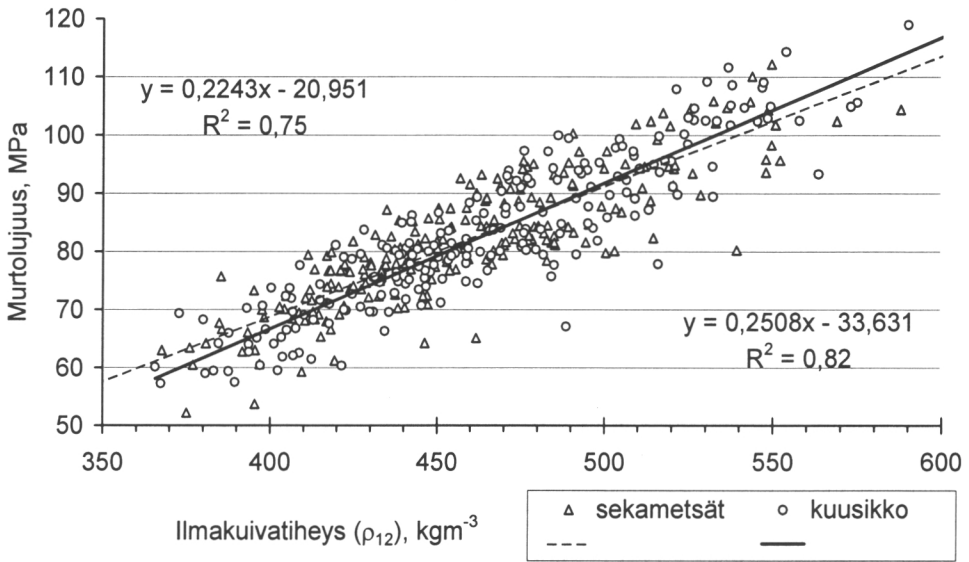
Nopeakasvuista ja leveälustoista puuta on pidetty lujuudeltaan heikompana. Nopeakasvuisen puuaineen tiheys jää yleensä alhaiseksi, koska lustojen kesäpuun osuus pienenee suhteessa kevätpuuhun. Aineiston pohjalta selvitettiin lustonleveyden ja tiheyden välinen riippuvuus (kuvat 8 ja 9). Kuiva-tuoretiheys aleni, mutta riippuvuus ei ollut lineaarinen. Lustonleveys selitti kuitenkin vain 40 prosenttia tiheyden vaihtelusta. Kuten kuvasta 8 näkyy, tiheys vaihteli paljon samankin lustonleveyden omaavien näytteiden välillä.

Sekametsien ja puhtaiden kuusikoiden välillä ei ollut juuri eroja lustonleveyden ja tiheyden vaihtelussa (kuva 9). Molemmissa malleissa yhden millimetrin lustonleveydellä puuaineksen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin noin 420 kgm^3 ja vastaavasti neljän millimetrin lustonleveydellä alle 350 kgm^3 .

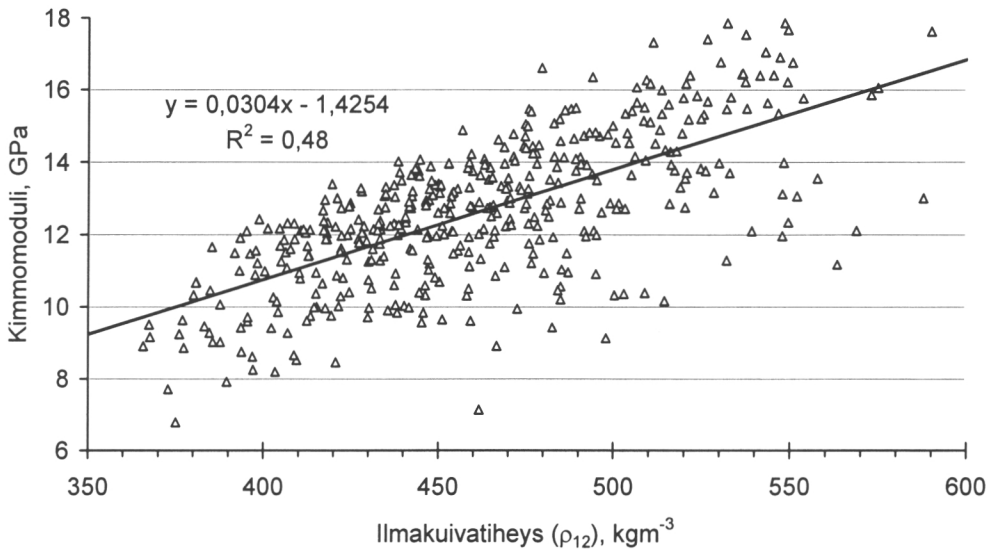
3 Yhteenveto

Kuusen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli keskimäärin 380 kgm^{-3} . Tiheys laskee siirtyäessä ytimestä pintaan päin, mutta kohoaa uudelleen pintapuussa ja on suurimmillaan rungon ulko-osissa. Tiheys myös kasvaa jonkin verran latvaa kohden. Tiheyden vaihtelua selitti parhaiten kasvunopeus. Leveälustoinen puuaine on siis keskimäärin kevyempää kuin kapealustoinen. Kasvupaikan viljavuuden paraneminen alensi puuaineen tiheyttä. Tiheysero lehtomaisen ja tuoreen kankaan välillä oli $10\text{--}20 \text{ kgm}^{-3}$ sekä tuoreen ja kuivahkon kankaan välillä 10 kgm^{-3} .

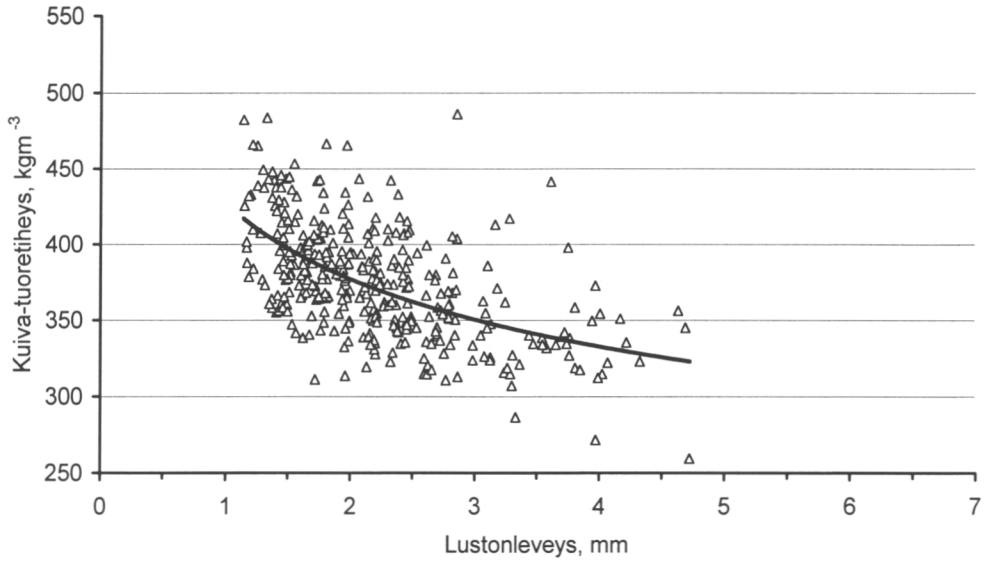
Pintasaheissakin lustonleveys selitti vain 40 % tiheyden vaihtelusta eli tiheyden ennustaminen rungon iän ja läpimitan perusteella ei ole kovin helppoa. Vaihtelu oli



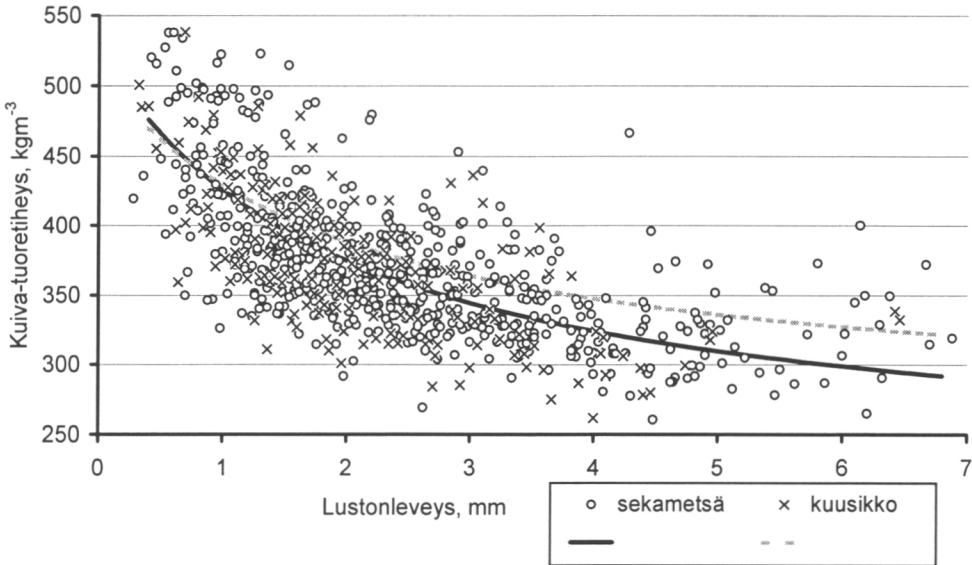
Kuva 6. Kuusen virheettömien näytteiden murtolujuuden riippuvuus tiheydestä (ilmakuivatiheys, mitattu 12 % kosteussuhteessa). Kuusikoiden ja koivu-kuusisekametsien välillä ei ollut merkittävää eroa lujuudessa.



Kuva 7. Kuusen virheettömien näytteiden kimmomodulin riippuvuus tiheydestä (ilmakuivatiheys, mitattu 12 % kosteussuhteessa).



Kuva 8. Kuiva-tuoretiheyden riippuvuus lustonleveydestä tutkitussa aineistossa. Näytteet olivat pintalautoista eli pintapuun uloimmista osista.



Kuva 9. Kuiva-tuoretiheyden riippuvuus lustonleveydestä sekä kuusikoista että koivu-kuusi-sekametsistä kerätystä aineistossa. Kasvatustavalla ei ollut merkittävää vaikutusta tiheyden vaihteluun (Bergstedt 2001).

myös selvästi suurempaa metsikön sisällä kuin metsiköiden välillä. Näin ollen met-sikkötunnusten avulla saattaa olla vaikea ennustaa luotettavasti puuaineen tiheyttä.

Puuaineen tiheys selitti erittäin hyvin puun murtolujuutta. Tiheä ja raskas puu on kevyttä vahvempaa. Kimmoisuutta oli vaikeampi selittää tiheysvaihtelun perusteel-la. Kimmoisuuteen vaikuttavat monet muut puuaineen ominaisuudet. Virheettömien kuusinäytteiden keskimääräinen kimmomoduli (MOE) oli 12,6 GPa ja murtolujuus (MOR) 82,3 MPa. Tutkimuksen sekametsistä ja kuusikoista otettujen näytteiden vä-lillä ei ollut merkittävää eroa puuaineuksen tai sahatavaran tiheydessä ja lujuudessa.

Kiitokset

Kiitokset näytteiden keräämisestä ja mittaamisesta Jukka Lehtimäelle, Erkki Salolle, Veijo Salolle, Tapio Nevalaiselle sekä Tapio Järviselle. Hannu Aaltiolle, Maria Boholmille, Anna-Maija Kokkoselle ja Kari Sauvalalle kiitokset avusta tulosten lasken-nassa ja analyysissä.

Kirjallisuus

- Bergstedt, A. 2001. Diameter increment, wood density and spiral grain. Teoksessa: Bergstedt, A. Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P. & Ståhl, E. (toim.) Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedon-antoja 822: 11—21.
- Boholm, M. 1999. Densitetsvariationen i granstammen och dess inverkan på slutproduktens kvalitet. Pro-grad-avhandling, Helsingfors Universitet, Institutionen för utnyttjande av skogs-tillgångar. 52 s.
- Danborg F. 1994. Density Variations and Demarcation of the Juvenile Wood in Norway Spruce. Danish Forest and Landscape Research Institute, Research Papers 10: 1—78.
- Flaete, P.-O. & Kucera, B. 1999. Virkesegenskaper til mellom-europeiske og norske granpro-vennienser plantet i Ostfold. Rapport Skogforskningen, NISK 1/99: 1—30.
- Flaete, P.O., Kucera, B. & Ystrøm Haartveit, E. 2001. Strength and related properties of Nor-way spruce lumber in structural sizes. Comparison of spruce grown in mixtures with birch and in monocultures. Teoksessa: Bergstedt, A. Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P. & Ståhl, E. (toim.) Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in mono-culture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 41—49.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 61.5: 1—98.
- Hakkila, P. & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 66.6: 1—23.
- Saranpää, P. 1994. Basic density, longitudinal shrinkage and tracheid length of juvenile wood of *Picea abies* Karst. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 68—74.
- Saranpää, P. & Repola, J. 2001. Strength of Norway spruce from both mixed stands and mo-nocultures. Teoksessa: Bergstedt, A. Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P. & Ståhl, E. (toim.) Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 33—40.
- Wagenführ, R. 1996. Holzatlas. Fachbuchverlag Leipzig, 688 s.

Kuusen oksikkuus ja sen ennustaminen

*Harri Mäkinen, Pentti Sairanen ja Hannu Yli-Kojola
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus*

Metsänkasvatuksen kokonaistulos on puun määrän ja laadun yhteistulos. Kuusen laadusta on tehty monia erillistutkimuksia. Laajaan empiiriseen aineistoon perustuvaa, yleisesti sovellettavaa mallia, jolla eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden laatukehitystä voidaan simuloida, ei kuitenkaan ole olemassa. Koska puun laatuominaisuuksien mittaaminen on työlästä, tarvitaan malleja, joilla puun nykyisiä ominaisuuksia voidaan ennustaa puusta helposti mitattavien tunnusmerkkien avulla. Toisaalta tarvitaan malleja, joilla voidaan tehdä ennusteita puun ja metsiköiden laatuominaisuuksien tulevasta kehityksestä ja metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksesta niihin.

Tässä tutkimuksessa laadittiin malleja, joilla voidaan ennustaa kuusen oksien ominaisuuksia ja joita voidaan soveltaa rungon laadun määrittämisessä. Mallit laadittiin Etelä- ja Keski-Suomen kivennäis- ja turvemaiden kuusikoille. Malleilla tarkasteltiin elävien ja kuolleiden oksien ominaisuuksia, eli oksien syntymistä, kasvamista, kuolemista ja karsiutumista sekä niihin vaikuttavia tekijöitä. Malleissa elävien oksien määrän muutosta latvuksessa kuvattiin oksien syntymis- ja kuolemisnopeuksina vuodesta toiseen. Vastaavasti kuolleiden oksien määrän kehitys esitettiin kuolevien ja karsiutuvien oksien määrän erotuksena. Oksan läpimitta ja kulma riippuivat lähinnä oksan iästä ja puun koosta.

Malleja laadittaessa kokeiltiin selittäjinä kasvupaikan päätyyppiä (suo, kangas), metsätyyppiä, perustamistapaa ja lannoitusta. Ne selittivät huomattavan osan oksien ominaisuuksien vaihtelusta. Kuitenkin em. tekijät näyttäisivät vaikuttavan oksien ominaisuuksiin lähinnä puun kokonaiskasvun kautta, eli ne eivät muuttaneet rungon ja oksien ominaisuuksien välisiä suhteita.

Mallit olivat sekä laadinta-aineistossaan että riippumattomassa testiaineistossa keskimäärin harhattomia. Kuitenkin yksittäisten puun ja metsiköiden nykyisten oksien ominaisuuksien ennustaminen ilman luotettavaa tietoa metsikön menneestä kehityksestä voi olla epäluotettavaa.

Mallit laadittiin yhteensopiviksi Metlassa laadittujen tilastollisten kasvumallien (MOTTI) ja Helsingin yliopistossa kehitettyjen prosessipohjaisten kasvumallien kanssa. Laaditut oksikkuusmallit tullaan jatkossa yhdistämään em. kasvumalleihin. Täten laadittavalla simulointijärjestelmällä voidaan kuvata tarkasteltavan metsikön laatua nykyhetkellä ja lisäksi parantaa metsikön kasvumallien soveltuvuutta metsänkäsitteilymenetelmien vaikutusten arviointiin. Entistä tarkempaa tietoa rungon ominaisuuksista voidaan hyödyntää myös viime vuosina kehitetyissä puun jalostusprosesseja kuvaavissa simulaattoreissa. Mallien avulla voidaan laatia kolmiulotteisia virtuaalisia tukkeja, joita tietokoneen sahausohjelma pilkkoo tuotteiksi ja optimointiohjelmat suunnittelevat saheiden asetukset parhaalla mahdollisella tavalla.

I Johdanto

Puuaineen soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin riippuu sen rakenteesta. Siksi puuraaka-aineen laatuvaatimukset vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan puuta jalostavasta yrityksestä toiseen, kuin myös ajan kuluessa käyttötarkoitusten ja jalostusprosessien muuttuessa. Puun rakenteen kuvaus riittävän tarkasti mahdollistaa laadun esittämisen kulloinkin voimassaolevan laatuluokituksen mukaan. Tätä varten on laadun kriteerit määriteltävä riittävän yleisesti, mutta samalla ottamalla huomioon tärkeimmät nyt nähtävissä olevat käyttötarkoitukset. Mekaanisen puunjalostuksen kannalta keskeisiä morfologisia laatua kuvaavia ominaisuuksia ovat mm. oksien koko ja laatu, vuosilustojen leveys, sydänpuun osuus sekä erilaisten vikojen esiintyminen ja laajuus. Koska em. puun rakenteellisten ominaisuuksien mittaaminen on työlästä, tarvitaan malleja, joilla puun nykyisiä ominaisuuksia voidaan ennustaa puusta helposti mitattavien tunnusten avulla. Toisaalta tarvitaan malleja, joilla voidaan tehdä ennusteita puiden ja metsiköiden laatuominaisuuksien tulevasta kehityksestä ja metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksesta niihin.

Mallinnusta tarvitaan strategisen ja operatiivisen päätöksenteon tueksi, koska erilaisia toimintavaihtoehtoja on paljon eikä ihminen pysty pelkästään omalla päättelyllään löytämään optimaalista toimintatapaa. Metsikön käsittelyn optimointi edellyttää kaikkien metsänkasvatukseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelua samanaikaisesti. Metsänkasvatuksen kokonaistulos on puun määrän ja laadun yhteistulos. Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksia metsikön kasvuun on tutkittu paljon ja tulosten perusteella on laadittu useita kasvumalleja, jotka on yhdistetty simulointijärjestelmiksi, esimerkiksi Metsäntutkimuslaitoksessa laadittu MELA (Siitonen 1995). Kasvusimulaattoreilla voidaan arvioida erilaisten metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusta tuotetun puutavaran määrään.

Vaikka puun laadusta ja kasvatusolosuhteiden vaikutuksesta siihen on tehty lukuisia tutkimuksia, laajaan empiiriseen aineistoon perustuvia yleisesti sovellettavia malleja, joilla eri tavoin käsiteltyjen metsiköiden laadun kehitystä voitaisiin simuloida, on Suomessa laadittu vain vähän (esim. Kärkkäinen 1986, Väisänen ym. 1989). Koska kasvusimulaattoreissa puun laadun kuvaus usein kokonaan puuttuu tai laatu kuvaavat mallit ovat puutteellisia, hoitotoimenpiteiden vertailut voivat olla harhaanjohtavia. Kasvumallien lisäksi metsikkösimulaattoreiden keskeisenä osana tulee olla yhteys kasvu- ja laatumallien välillä. Täten voidaan parantaa simulaattoreiden soveltuvuutta vaihtoehtoisten metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusten arviointiin.

Entistä tarkempaa tietoa puun ominaisuuksista voidaan hyödyntää myös viime vuosina kehitetyissä puun jalostusprosesseja kuvaavissa simulaattoreissa (esim. Usenius 1999). Optisen analyysin ja röntgenkuvien avulla on mitattu runkojen rakennetta ja laadittu kolmiulotteisia virtuaalisia tukkeja, joita tietokoneen sahausohjelma pilkkoo tuotteiksi ja optimointiohjelmat suunnittelevat saheiden asetukset parhaalla mahdollisella tavalla. Nämä ohjelmistot perustuvat kuitenkin siihen, että virtuaaliseen sahauskseen on käytettävissä valmis runko. Mallit, jotka kuvaavat rungon kasvua, sen rakenteen muodostumista, sekä metsänhoitotoimien vaikutusta rungon sisäisen

rakenteen kehitykseen, mahdollistavat metsikön kasvatuksen entistä kokonaisvaltaisemman optimoinnin ja puuraaka-aineen ohjaamisen eri käyttötarkoituksiin sen ominaisuuksien mukaan.

Kuusen oksien ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti saatavan sahatavaran laatuun (esim. Siimes 1960, Heiskanen 1968). Tärkeimmät yksittäisen rungon oksien ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ovat metsikön tiheys, puiden tilajärjestys metsikössä ja kasvupaikan viljavuus, joita voidaan osittain säädellä metsänhoitotoimenpiteillä. Täten metsistä saatavissa olevan puuraaka-aineen ominaisuudet riippuvat ratkaisevasti kiertoajan kuluessa sovelletuista metsänkasvatuksen menetelmistä, ja puuaineen laatu tulisi ottaa huomioon myös metsänkasvatuksen ohjeissa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli laatia malleja, joilla voidaan ennustaa kuusen oksien ominaisuuksia ja joita voidaan soveltaa rungon laadun määrittämisessä. Mallit laadittiin yhteensopiviksi Metlassa laadittujen tilastollisten kasvumallien (MOTTI, Hynynen ym. 2000) ja Helsingin yliopistossa laadittujen prosessipohjaisten kasvumallien (Mäkelä 1997) kanssa. Täten laadituilla malleilla voidaan parantaa metsikön kasvumallien soveltuvuutta metsänkäsittelymenetelmien vaikutusten arviointiin. Aineisto koostui ns. kiehkuraoksista. Välioksia ei huomioitu, koska niiden vaikutus laatuun on kiehkuraoksia vähäisempi. Alla kuvattavat mallit ja niiden laadintaan käytetty aineisto on esitetty yksityiskohtaisesti artikkelissa Mäkinen ym. (2001).

2 Oksien ominaisuuksia kuvaavat mallit

Runkojen ulkoista laatua tarkasteltiin elävien ja kuolleiden oksien ominaisuuksien avulla ja pyrittiin löytämään niihin vaikuttavia tekijöitä. Oksien ominaisuuksien vaihtelun selittämiseen käytettiin (i) metsikkötason tunnuksia, kuten puuston tiheys ja kasvupaikan viljavuus, (ii) puutason tunnuksia, kuten puun ikä, rungon läpimitta sekä puun ja latvuksen pituus ja (iii) oksatason tunnuksia, kuten oksan läpimitta ja ikä. Aineiston analyysissä käytettiin selitettävänä muuttujina kaikkien oksien ominaisuuksia, eikä laskettu esim. kiehkuraokohtaisia keskiarvoja tai suurimman oksan ominaisuuksia. Näin pystyttiin hyödyntämään aineiston sisältämä tieto sekä ominaisuuksien keskimääräisestä vaihtelusta puiden välillä ja rungon eri korkeuksilla kuin myös ominaisuuksien vaihtelusta kiehkuran sisällä.

Oksien syntymistä, kasvamista, kuolemista ja karsiutumista sekä niihin vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin varianssikomponenttimallien avulla (Searle ym. 1992). Varianssikomponenttimallissa on kiinteitä parametrejä kuten normaaleissa regressiomalleissa. Niiden lisäksi mallissa on satunnaisia parametrejä, jotka vaihtelevat luokasta tai yksilöstä toiseen. Satunnaisilla parametreillä voidaan ottaa huomioon aineiston hierarkkisesta rakenteesta (alue, koeala, puu, kiehkura, oksa) johtuva yksittäisten havaintojen välinen riippuvuus. Koska osa selitettävistä muuttujista oli epäjatkuvia, binäärisiä tai ne kuvasivat suhteellista osuutta, muuttujat eivät täyttäneet lineaaristen mallien oletuksia. Tällöin käytettiin yleistettyjä lineaarisia malleja (GLM) (McCullagh & Nelder 1989). Ne koostuvat lineaarisesta osasta, kuten taval-

liset lineaariset mallit, ja epälinearisesta linkkifunktiosta. Linkkifunktion avulla esitetään selitettävän muuttujan odotusarvon ja parametrien suhteen lineaarisen mallin välinen suhde.

2.1 Oksien syntyminen, kuoleminen ja karsiutuminen

Elävien oksien määrän muutos latvuksessa voidaan esittää syntyvien ja kuolevien oksien määrän erotuksena. Tarkastelemalla oksien syntymistä ja kuolemista vuodesta toiseen voidaan tarkastella oksien määrän kehitystä puun iän mukana. Vastaavasti kuolleiden oksien määrän kehitys voidaan esittää kuolevien ja karsiutuvien oksien määrän erotuksena. Tuntemalla nämä osaprosessit ja niihin vaikuttavat tekijät puiden oksikkuutta voidaan kuvata oksien syntymis-, kuolemis- ja karsiutumismalleilla.

Kuusella oksien määrä kiehkurassa kuvaa latvukseen vuosittain syntyvien oksien määrää. Aineiston alustavassa tarkastelussa havaittiin, että oksien määrä kiehkurassa vaihteli elävän latvuksen alueella satunnaisesti kiehkurasta toiseen luultavasti vuotuisten säävaihteluiden aiheuttamana. Kuolleiden oksien karsiutuminen kuitenkin alkoi noin 50. kiehkurasta latvasta lukien, vaikka elävän latvuksen raja olisi ollut tätä alempana. Täten oksien vuotuisena syntymisnopeutena käytettiin oksien kiehkurakohtaista määrää elävän latvuksen alueella tai 50. kiehkuran yläpuolella (NUMBR). Oksien syntymistä kuvattiin mallilla (symbolit, taulukko 1)

$$\ln(\text{NUMBR}_{rftw}) = n_0 + n_1 \ln(\text{HI}_{rftw}) + n_2 \text{AGE_HI}_{rftw} + un_r + un_{rf} + un_{rft} + en_{rftw}. \quad (1)$$

Syntyvien oksien määrää selitti parhaiten rungon pituuskasvu oksien syntymisvuotta edeltävänä vuonna (HI). Pituuskasvun lisäksi vain puun ikä oksien syntymisvuonna (AGE_HI) oli tilastollisesti merkitsevä kiinteä selittäjä mallissa.

Oksien kuolemista rungon eri korkeuksilla tarkasteltiin niiden elossaolotodennäköisyytenä (PRA) ja sitä kuvattiin mallilla

$$\ln\left[\frac{\text{PRA}_{rftwi}}{1 - \text{PRA}_{rftwi}}\right] = s_0 + s_1 \text{WHORL}_{rftw} + s_2 \text{WHORL}_{rftw} * (\text{H}_{rft} - 130) / \text{DBH}_{rft} + s_3 \text{RELBD}_{rftwi} + s_4 \text{AGE}_{rft} + \text{RELH}_{rft} + us_{rf} + us_{rft} + es_{rftwi}, \quad (2)$$

Oksien kuolemista selitti parhaiten niiden ikä (WHORL). Vanhemmissa puissa oli enemmän eläviä kiehkuroita kuin nuorissa puissa (AGE). Lisäksi oksien kuoleminen oli nopeaa solakoilla puilla ((H-130)/DBH). Samoin kiehkuran ohuempien oksien todennäköisyys olla elossa oli pienempi kuin paksumpien oksien (RELBD). Aineisto kuvasi vain oksien elossaoloa tietyllä hetkellä, eikä samoja oksia seurattu eri ajanhetkinä. Aineiston perusteella ei täten voi päätellä kuolevatko ohuet oksat aiemmin kuin paksut, vai ovatko ne ohuita koska ne ovat kuolleet aiemmin.

Kuten edellä todettiin, oksien karsiutuminen oli vähäistä elävän latvuksen alueella

Taulukko 1. Symbolien selitykset.

Muuttuja	Määritelmä
H	Rungon pituus (cm)
RELH	Rungon suhteellinen pituus verrattuna metsikön valtapituuteen
HI	Rungon vuotuinen pituuskasvu (cm)
DBH	Rungon läpimitta rinnankorkeudella (mm)
CLREL	Latvuksen suhteellinen pituus (latvuksen pituus / H)
AGE	Puun ikä (vuotta)
AGE_HI	Puun ikä kun oksat syntyivät (vuotta)
WHÖRL	Kiehkuran numero latvasta lukien
WHORLBCB	Kiehkuran numero latvusrajalta lukien
RELBD	Oksan läpimitta / kiehkuran paksuimman oksan läpimitta
NUMBR	Oksien määrä kiehkurassa (kpl)
BRA	Oksakulma (astetta)
BRD	Oksan läpimitta (mm)
PRDB	Oksien määrä kiehkurassa / kiehkuran alunperäinen oksien määrä
PRA	Oksan elossaolotodennäköisyys
un, ua, ud, us, up	Varianssikomponentit malleissa 1-5
en, ea, ed, es, ep	Residuaalit malleissa 1-5
n, a, d, s, p	Parametrit malleissa 1-5
Alaindeksit:	
r, f, t, w, i	Alue, metsikkö, puu, kiehkura, oksa

tai 50. kiehkuran yläpuolella, joten karsiutumista tarkasteltiin ainoastaan ko. rajojen alapuolella. Koska kiehkuraan syntyneiden oksien määrää ei tiedetty, se ennustettiin oksien syntymismallilla 1. Selitettävänä muuttujana karsiutumista kuvaavassa mallissa käytettiin kiehkuran oksamäärän suhdetta mallilla ennustettuun alkuperäiseen oksamäärään (PRDB) ja malli oli muotoa

$$\ln\left[\frac{PRDB_{rftw}}{1 - PRDB_{rftw}}\right] = p_0 + p_1 WHORLBCB_{rftw} + p_2 DBH_{rft} + p_3 CLREL_{rft} + up_r + up_{rf} + up_{rft} + ep_{rftw}, \quad (3)$$

(symbolit, taulukko 1). Oksien karsiutuminen riippui voimakkaimmin niiden kuolemasta kuluneesta ajasta (WHORLBCB). Lisäksi pitkälatvuksisilla puilla (CLREL) oksien karsiutuminen latvusrajan alapuolella oli nopeaa.

2.2 Oksakulma ja oksien läpimitta

Ylimmissä kiehkuroissa oksakulma oli keskimäärin 50°. Oksakulma suureni nopeasti siirryttäessä tyveä kohti, mutta kulman suureneminen hidastui latvuksen alaosissa. Oksakulmaa (BRA) kuvattiin mallilla

$$BRA_{rftw} = a_0 + a_1 \ln(WHORL_{rftw}) + a_2 \ln(WHORL_{rftw}) * DBH_{rft} + ua_r + ua_{rf} + ua_{rft} + ea_{rftw}, \quad (4)$$

(symbolit, taulukko 1). Oksan iän (WHORL) lisäksi oksakulma oli yhteydessä rungon läpimittaan (DBH). Muiden tekijöiden vaikutus oksakulmaan oli pieni ja kulman satunnainen vaihtelu suurta.

Oksien läpimitta lisääntyi nopeasti latvan yläosissa siirryttäessä puun tyveä kohti. Puun paksuimmat oksat sijaitsivat elävän latvuksen alaosissa, jonka jälkeen oksien läpimitta jälleen pieneni tyveä kohti. Oksien läpimittaa (BRD) kuvattiin mallilla

$$\ln(BRD_{rftwi}) = d_0 + d_1 WHORL_{rftw} + d_2 \ln(WHORL_{rftw}) + d_3 DBH_{rft} + ud_{rf} + ud_{rft} + ed_{rftwi}, \quad (5)$$

(symbolit, taulukko 1). Oksan iän lisäksi oksien läpimitta oli selvimmän yhteydessä rungon läpimittaan.

Kaikkia edellä esitettyjä malleja laadittaessa kokeiltiin selittäjinä kasvupaikan päätyyppiä (suo, kangas), metsätyyppiä, perustamistapaa (luontainen, viljelty) ja lannoitusta (lannoitettu, ei lannoitettu). Muuttujat selittivät huomattavan osan oksien ominaisuuksien vaihtelusta. Kun puun ja latvuksen kokoa kuvaavat muuttujat olivat mallissa selittäjinä, päätyyppi, metsätyyppi, perustamistapa ja lannoitus paransivat vain vähän mallin selityksastetta. Täten ko. tekijät näyttäisivät vaikuttavan oksien ominaisuuksiin lähinnä puun kokonaiskasvun kautta, eli ne eivät muuta rungon ja oksien ominaisuuksien välistä suhdetta.

2.3 Esimerkkilaskelmia

Kuvassa 1 mallien toimintaa on havainnollistettu ennustamalla kolmelle eri latvuserroksen puulle kiehkuraan syntyneiden oksien määrä, oksakulma, oksien läpimitta, oksien elossaolotodennäköisyys ja kiehkuran nykyisen oksamäärän ja siihen syntyneiden oksien määrän suhde. Kiehkuraan syntyvien oksien määrä vaihteli kolmesta viiteen. Valtapuuhun syntyi vuosittain keskimäärin hieman enemmän oksia verrattuna alempien latvuserrosten puihin. Oksakulma oli valtapuissa hieman jyrkempi kuin pienemmissä puissa, mutta ero eri latvuserrosten välillä oli pieni. Valtapuiden oksat olivat myös paksumpia kuin alempien latvuserrosten oksat, mutta ero pieneni puun tyveä kohti. Alempien latvuserrosten puiden oksat kuolivat nopeammin kuin valtapuiden oksat. Kuitenkin oksien kuoleman jälkeen niiden karsituminen oli valtapuissa hieman nopeampaa kuin pienemmällä puilla.

Oksikkuustunnukset ennustettiin stokastisesti 50 kertaa yhdelle satunnaisesti valitulle puulle (kuva 2). Ennusteisiin tuotettiin satunnaista vaihtelua lisäämällä mallien varianssikomponentteihin ja virhetermiin satunnaistekijä niiden hajonnan mukaan. Koska yksittäisten mallien varianssikomponentit ja virhetermit eivät ole keskenään

riippumattomia, niiden välinen riippuvuus huomioitiin simuloinneissa (vrt. Mäkinen ym. 2000). Vaikka laaditut mallit toimivat laadinta-aineistossaan ja riippumattomassa testiaineistossa keskimäärin harhattomasti, kuvasta 2 nähdään että yksittäisillä puilla havaittujen ja ennustettujen arvojen välillä voi olla huomattaviakin eroja. Esimerkiksi mallit ennustivat systemaattisesti liian pieniä oksia esimerkkipuun kiehkuran 55 yläpuolella (kuva 2C). Havaitut oksien läpimitat pysyivät kuitenkin ennustettujen oksien läpimittojen satunnaisvaihtelun rajoissa. Esimerkkipuun oksien läpimitan äkillinen lisääntyminen johtunee metsikössä tehdystä harvennuksesta, jota ei voitu ottaa simuloinneissa huomioon.

3 Tulosten tarkastelua

Tässä tutkimuksessa kehitettiin tilastollisia malleja, joiden avulla voidaan ennustaa kuusen elävien ja kuolleiden oksien ominaisuuksia ja pyrittiin löytämään niihin vaikuttavia tekijöitä. Laadituilla malleilla voidaan ennustaa puista helposti mitattavien tunnusten perusteella uusien oksien määrä, oksakulma, oksien läpimitta, laatu (elävä, kuollut) sekä karsiutumisen. Mallit laadittiin Etelä- ja Keski-Suomen kivennäis- ja turvemaiden kuusikoille. Oksien ominaisuuksien vaihtelun selittämiseen käytettiin metsikkö-, puu- ja oksatason tunnuksia.

Mallit olivat sekä laadinta-aineistossaan että riippumattomassa testiaineistossa keskimäärin harhattomia (Mäkinen ym. 2000). Kuitenkin kuten yllä esitetyissä esimerkkisimuloinneissa havaittiin, yksittäisten puiden ja metsiköiden nykyisten oksien ominaisuuksien ennustaminen ilman luotettavaa tietoa metsikön menneestä kehityksestä voi olla epäluotettavaa. Laaditut mallit voidaan kuitenkin yhdistää puutason kasvumalleihin. Kasvumalleilla voidaan ennustaa erilaisten metsänhoitotoimenpiteiden vaikutus puun kasvuun ja täten huomioida myös paremmin niiden vaikutus oksien ominaisuuksiin.

Metsikkösimulaattoreissa metsikkö kuvataan tavallisesti muutaman kuvauspuun avulla, jotka edustavat koko metsikön puita. Metsikön kasvua simuloitaessa alhaisesta kuvauspuiden määrästä ei välttämättä ole haittaa tai siitä voi olla jopa etua laskennan nopeutuessa. Kuitenkin arvioitaessa puuston laatua ei olla kiinnostuneita vain metsikön puiden keskimääräisestä laadusta vaan myös laatuun vaikuttavien ominaisuuksien hajonnasta, eli parhaimpiin laatuluokkiin kuuluvien runkojen määrästä. Laadittujen mallien avulla voidaan oksikkuustunnusten hajontaa kuvata lisäämällä vaihtelua mallien varianssikomponentteihin ja virhetermeihin niiden havaitun hajonnan mukaisesti.

Metsäntutkimuslaitoksessa on aiemmin laadittu vastaavia oksien ominaisuuksia kuvaavia malleja männylle. Mallit on yhdistetty sekä männyn empiirisiin kasvumalleihin että puun elintoimintoihin perustuviin kasvumalleihin (Mäkelä ym. 1999, Mäkinen ym. 1999). Myös tässä tutkimuksessa laaditut kuusen oksikkuusmallit tullaan jatkossa yhdistämään kasvumalleihin. Tavoitteena on, että laadittavalla simulointijärjestelmällä voidaan kuvata tarkasteltavan metsikön laatua nykyhetkellä ja lisäksi ennustaa kuusirunkojen sisärakenteen tulevaa kehitystä ja erilaisten hoitotoimenpiteiden vaikutusta siihen.

Kirjallisuus

- Heiskanen, V. 1968. Kuusitukkien laatuluokkajakauma Etelä-Suomessa. *Silva Fenn.* 2: 1-18.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2000. Models for predicting stand development - Description of biological processes in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. (Painossa).
- Kärkkäinen, M. 1986. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. *Silva Fenn.* 20: 107-116.
- McCullagh, P., & Nelder, J.A. 1989. *Generalized Linear Models*. 2nd edition. Chapman and Hall, London. 511 s.
- Mäkelä, A. 1997. A carbon balance model of growth and self-pruning in trees based on structural relationships. *For. Sci.* 43(1): 7-24.
- Mäkelä, A., Mäkinen, H., & Vanninen, P. 1999. Quality of Scots pine stems under different thinning treatments – an analysis based on resource capture and allocation in individual trees. Teoksessa: Nepveu, G. (toim.). Proceedings of IUFRO WP S5.01-04 Workshop ‘Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares’, La Londe-Les-Maures, France, September 5-12, 1999. s. 571-578.
- Mäkinen, H., Hynynen, J., Colin, F. & Mäkelä, A. 1999. Predicting branch characteristics of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information. Teoksessa: Nepveu, G. (toim.). Proceedings of IUFRO WP S5.01-04 Workshop ‘Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares’, La Londe-Les-Maures, France, September 5-12, 1999. s. 42-49.
- Mäkinen, H., Ojansuu, R., Sairanen, P. & Yli-Kojola, H. 2002. Predicting branch characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from usual tree and stand measurements. Käsikirjoitus.
- Searle, S.R., Casella, G., & McCulloch, C.E. 1992. *Variance Components*. John Wiley & Sons, Inc., New York. 528 s.
- Siimes, F.E. 1960. Tutkimus kuusisahatukkien ominaisuuksista ja tukkilaadun vaikutuksesta sahatavarain laatuun sekä alustava ehdotus kuusisahatukkien laatuluokitusta varten. *Paperi ja Puu* 42(3): 79-98.
- Siitonen, M. 1995. The MELA system as a forestry modelling framework. *Lesnictvi-Forestry* 41: 173-178.
- Usenius, A. 1999. Wood conversion chain optimization. Teoksessa: Nepveu, G. (toim.). Proceedings of IUFRO WP S5.01-04 Workshop ‘Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares’, La Londe-Les-Maures, France, September 5-12, 1999. s. 541-548.
- Väisänen, H., Kellomäki, S., Oker-Blom, P. & Valtonen, E. 1989. Structural development of *Pinus sylvestris* stands with varying initial density: a preliminary model for quality of sawn timber as affected by silvicultural measures. *Scand. J. For. Res.* 4: 223-238.

Kuusisahatavaran muodonmuutokset kuivauksessa

Pekka Saranpää

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

I Sahatavaran muodonmuutokset

Kuivauksen aikana syntyvät muotovirheet heikentävät merkittävästi sahatavaran laatua. Muodonmuutoksia ovat lapevääryys, syrjävääryys, kupertuminen ja kieroutuminen (kuva 1). Muotovirheitä esiintyy yleensä sitä enemmän mitä alhaisempaan loppukosteuteen sahatavara kuivataan. Muodonmuutokset johtuvat usein sahatavarakappaleen epätasaisesta kutistumisesta eli esim. toinen lape kutistuu kuivumisen aikana toista lapetta enemmän, jolloin sahe vääntyy. Kutistumiseroja puuaineen sisällä aiheuttavat puolestaan monet ominaisuudet, kuten kierresyisyys, isot oksat, reaktiipuu eli lyly, suuri kesäpuuosuus ja jyrkkä soluseinäman mikrofibrillikulma.

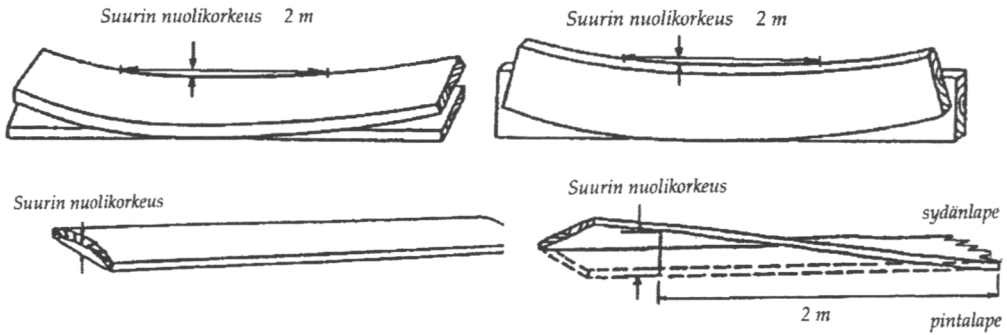
2 Puun kuivuminen

Tuoreen puun painosta lähes puolet on vettä ja sekä solujen seinät että soluontelo ovat pintapuussa kyllästyneet vedellä. Puuta kuivattaessa poistuu ensin nk. vapaa vesi eli soluonteloissa oleva vesi. Puun kutistuminen alkaa kun soluonteloissa ollut vapaa vesi on haihtunut ja soluseinämissä oleva nk. sidottu vesi alkaa poistua (Puun Syiden Kyllästymispisteen, PSK:n alapuolella eli n. 30 % kosteussuhteessa). Kutistuminen on sitä suurempaa mitä alhaisempaan kosteuteen puu kuivuu. Kutistuminen vaihtelee myös puun eri suunnissa.

3 Puuaineen kutistuminen

Kuusen puuaineen pituuden suuntainen kutistuminen on normaalisti hyvin pientä, alle 0,2 prosenttia. Leveyden eli säteen suuntainen (lustojen vastainen) ja tangentin suuntainen (lustojen myötäinen) kutistuma on huomattavasti suurempaa, n. 4 ja 8 % kuivattaessa absoluuttisen kuivaksi. Pituuden suuntainen kutistuma voi olla kuitenkin lähes kaksinkertainen ytimen ympärillä olevassa ydin- eli nuorpuussa (0,3–0,4 %) ja lylyä sisältävissä rungon osissa (0,4–0,8 %). Tämän seurauksena saheet, joissa on sekä ydinpuuta ja/tai lylyä että normaalia puuainesta kieroutuvat helposti.

Pituuden suuntainen kutistuma kasvaa jonkin verran latvaa kohden ytimen ympärillä. Pituuden suuntaisen kutistuman ja kuituseinäman selluloosan suuntautumisen



Kuva 1. Saheidien muotovirheet ja niiden mittaus (Pohjoismainen sahatavara – lajitteluohjeet 1994).

eli mikrofibrillikulman välillä on selvä riippuvuus. Molemmat pienenevät ytimestä pintaan päin ja saavuttavat minimin n. 6—8 luston päässä ytimestä (ks. Ensiharvennuskukseen raaka-aineominaisuudet). Näin ollen nuorpuun määränä voidaan pitää hie-man alle kymmentä vuosilustoa ja noin 6 cm:n läpimittaa. Virheettömässä puuaineessa mikrofibrillikulma on alle 10 astetta, mutta lylypuussa noin 45 astetta eli selvästi suurempi.

4 Kuusen puuaineen kutistuminen kuivauksen aikana

Tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää, miten kuusen puuaineen pituuden suuntainen kutistuma vaihtelee ytimestä pintaan päin ja eri korkeudella rungossa. Myös lustonleveyden ja reaktiopuun eli lylyn vaikutus pituuden suuntaiseen kutistumaan selvitettiin.

Tutkimusaineisto valittiin yhteensä 40 rungosta kahdeksasta eri metsiköstä. Näistä puolet oli karuilla ja puolet viljavilla kasvupaikoilla (taulukko 1, sekä taulukko 1 s. 8 ja kuva 1 s. 9).

Rungoista sahattiin noin 30 cm paksuiset kiekot 1, 4, 8, 12 ja 16 m korkeudelta. Näistä sahattiin ja höylättiin edelleen etelä-pohjoissuunnassa 200 mm korkea ja 20 mm leveä kappale ytimen kautta. Kappaleen tarkka korkeus puun syiden suunnassa mitattiin digitaalityöntömitan avulla ytimestä pintaan päin 10 mm välein. Mittauskohdat merkittiin tarkkaan, jonka jälkeen kappale uunikuivattiin (kaksi vuorokautta 103 asteessa). Tämän jälkeen kappale mitattiin uudelleen ja näin saatiin selville pituuden suuntainen kutistuminen ytimestä pintaan 1 cm:n välein.

Lisäksi jokaisesta korkeudelta sahattiin näyte oksakiehkuran kohdalta. Näistä sahattiin edellä kuvatun kaltainen kappale oksan suuntaisesti niin, että oksa oli toisessa syrjässä ja kappale oli sahattu ytimen kautta. Oksan läpimitta määritettiin syrjästä ja näin saatiin selville erikoisten oksien vaikutus pituuden suuntaiseen kutistumaan.

Taulukko 1. Leimikot, joiden puista tutkittiin pituuden suuntaisen kutistuman vaihtelu puun pinnasta ytimeen. Tavoitteena oli selvittää, miten kasvunopeus eli lustonleveys vaikuttaa kutistumaan. (Kasvupaikkanumerot ks. kartta s. 9.)

Kasvu- paikka	Ikä, v	Pituus, m	Rinnankorkeus- läpimitta, cm	Lustonleveys, mm
1	89	27,4	31,6	2,47
3	70	25,1	25,1	2,35
19	45	20,4	22,6	4,28
20	129	28,3	34,6	1,64
26	122	20,2	25,3	1,20
28	69	22,5	26,3	2,62
39	65	26,6	34,1	3,93
42	93	22,0	26,7	1,73

5 Saheiden muodonmuutokset kuivauksen aikana

Jotta voitiin selvittää eri tekijöiden vaikutusta saheiden muotovirheisiin, kerättiin sekä viljavan OMT- että karumman mustikkatyypin metsiköstä yhteensä 26 vallitsevan latvuskerroksen runkoa, jotka täyttivät mitta- ja laatuvaatimukset (taulukko 2). Lustonleveys oli edellisen kasvupaikan rungoissa keskimäärin 2,3 mm ja jälkimmäisen 1,2 mm. Tukit katkottiin 5 m:n pituisiksi 16 cm:n minimilatva-läpimittaan saakka.

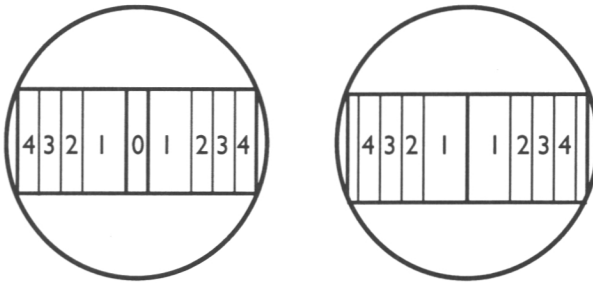
Tukit pätkittiin edelleen 2,5 m pituisiksi ja sahattiin kahdella eri sahausasetteella: A) 12 tukista poistettiin ensin 38 x 100 mm ydinkappale (ydin- eli sydänvapaasahaus, kuva 2). Tämän jälkeen sahattiin molemmilta puolilta 50 x 100 mm lankut ja 22 x 100 mm sivu- eli pintalaudat; B) loppuista tukeista sahattiin ytimen molemmin puolin sydänlankut ja tämän jälkeen sivulaudat. Koetukkien sahaus ja kamarikuivaus tehtiin Joensuun metsä- ja puutalousoppilaitoksella. Kuivauksen jälkeen mitattiin saheiden muodonmuutokset: lapevääryys, syrjävääryys, kupertuminen ja kieroutuminen (kuva 1). Tarkoitus oli verrata ytimen ympärillä olevan nuorpuun poistamisen vaikutusta muotopysyvyyteen sekä kasvunopeuden eli lustonleveyden vaikutusta kuivauksen aikaisiin muodonmuutoksiin.

Taulukko 2. Sahaustutkimusaineisto, jonka tavoitteena oli selvittää myös kasvunopeuden vaikutus muodonmuutoksiin.

Kasvu- paikka	Ikä, v	Pituus, m	Rinnankorkeus- läpimitta, cm	Lustonleveys, mm	Alin elävä oksa, m
OMT	77	25,6	35,4	2,28	3,1
VT	104	21,3	25,6	1,23	2,3



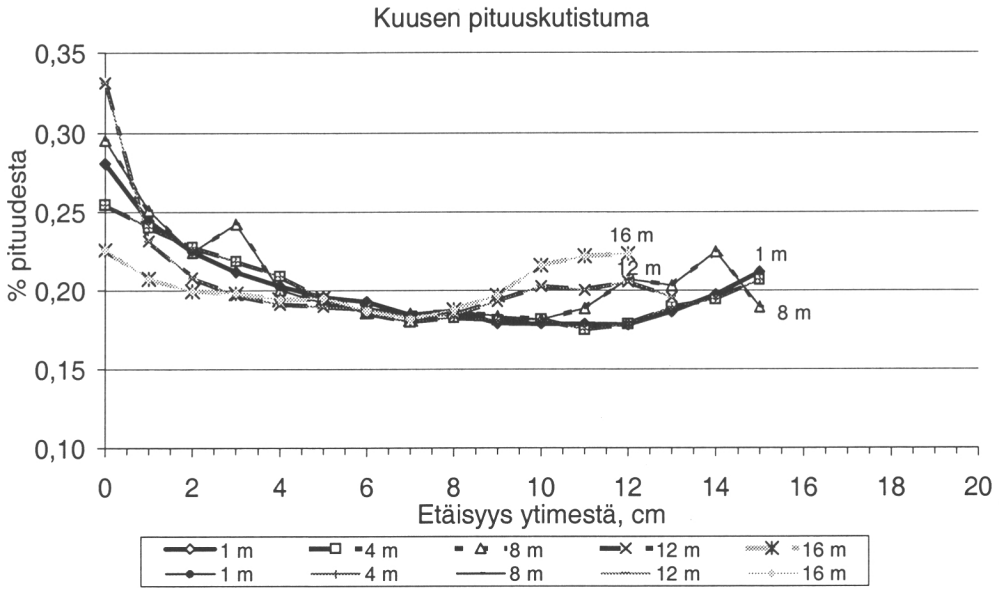
Kuva 2. Pituuden suuntaisen kutistuman määrittäminen. Kappale on sahattu ytimen kautta ja mitaus tehtiin 10 mm välein ytimestä pintaan. Kappaleen pituus mitattiin tuoreena heti sahauskeuhon jälkeen sekä uunikuivauksen jälkeen. Näytteet siis kuivattiin absoluuttisen kuivaksi ja näin saatiin selville suurin mahdollinen kutistuma. Samanaikaisesti mitattiin myös kappaleen leveys em. kohdista ja näin saatiin selville tangentin suuntainen eli lustojen myötäinen kutistuma ytimestä pintaan. Vastaavanlaiset kappaleet sahattiin myös oksakiehkuran kohdalta niin, että oksa oli toisessa syrjässä. Näin saatiin selville oksan vaikutus pituuskuutistumaan.



Kuva 3. Sahausasette. Ydin- eli sydänvapaa sahaus (vasemmalla) sekä ytimen halkaisu (oikealla). Osa aineistosta sahattiin asetteella, jolla poistettiin ensin ytimen sisältävä sydänlauta 38 x 100 mm (0). Tämän jälkeen sahattiin 50 x 100 mm lankut molemmin puolin (1) sekä 28 x 100 mm sivulaudat (2–4). Saheet kuivattiin kamarikuivauksella ja saheista määritettiin muotovirheet.

6 Puuaineen kutistuminen

Tutkitussa kuusiaineistossa pituuden suuntainen kutistuma väheni melko nopeasti ytimestä pintaan päin ja saavutti 0,2 prosentin rajan noin 2–4 senttimetrin päässä ytimestä (kuva 4) eli lustoissa 8–10. Pituuden suuntainen kutistuma kasvoi hieman latvaa kohden eli rinnankorkeudelta 12 metriin. Vastaava tulos on havaittu aiemmin mitattaessa kuusen latvaversojen kutistumaa eripituisissa puissa (Saranpää 1994).



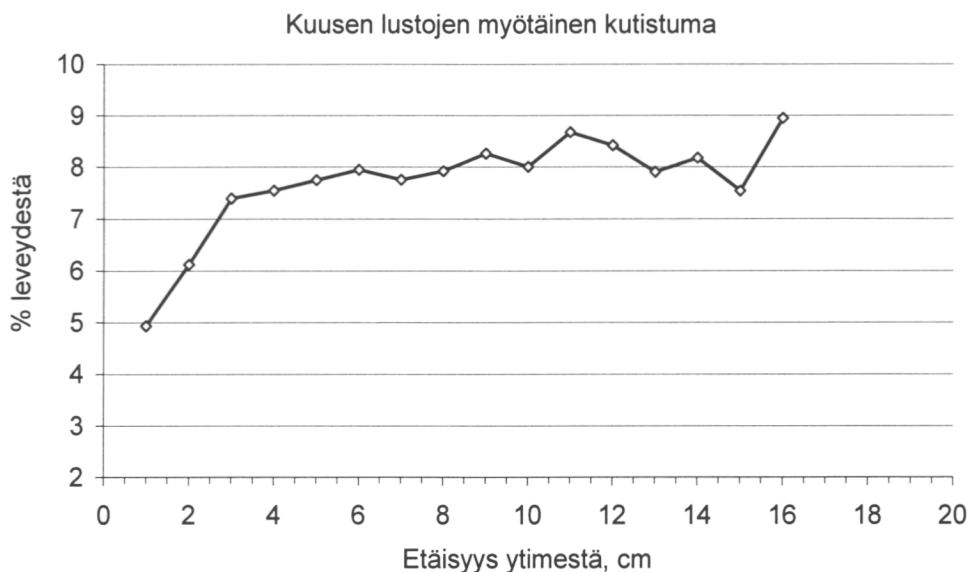
Kuva 4. Pituuden suuntaisen kutistuman vaihtelu eri korkeudella 40 kuusitukissa. Kappale kutistuu voimakkaimmin aivan ytimen lähellä ja kutistuma pienenee 0,2 prosenttiin noin 2–4 cm etäisyydellä ytimestä. Pituuden suuntainen kutistuma kasvaa jälleen kuoren lähellä, mihin saattaa olla syynä uloimpien lustojen suurempi kesäpuuosuus. Kevätpuuta tiheämpi kesäpuu kutistuu voimakkaasti. Pituuden suuntainen kutistuma myös kasvaa hieman latvaa kohden.

Kuusen puuaineen tangentin suuntainen eli lustojen myötäinen kutistuma vaihteli 5–9 prosentin välillä ja päinvastoin kuin pituuden suuntainen kutistuma, se suureni ytimestä pintaan päin (kuva 5). Muutos oli voimakkain noin kolme senttimetriä leveällä vyöhykkeellä ytimen ympärillä (kuva 5).

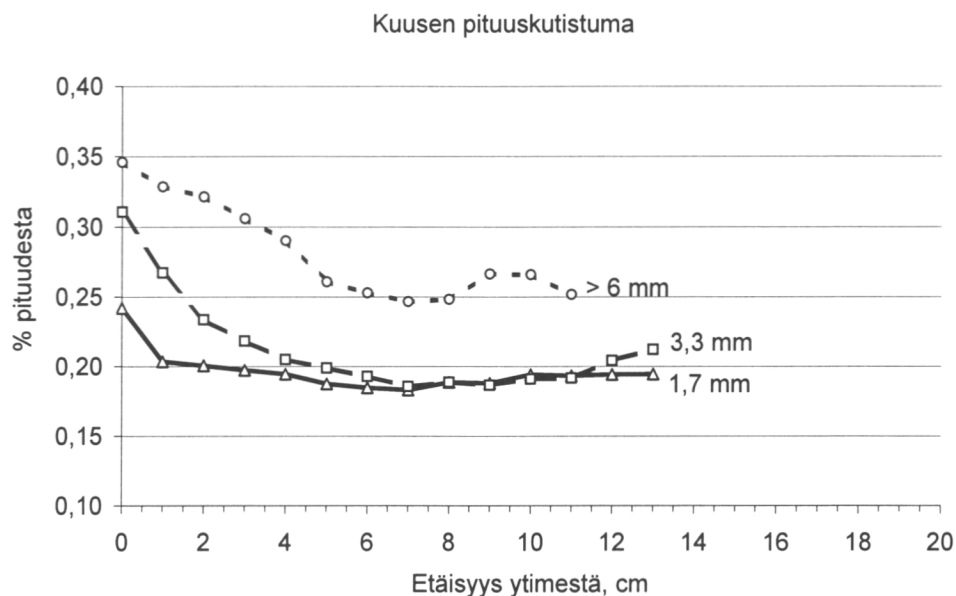
Pituuden suuntaisen kutistuman ja soluseinämän mikrofibrillikulman välillä on selvä riippuvuus (ks. kappale: Ensiharvennuskuusen raaka-aineominaisuudet). Molemmat pienenevät ytimestä pintaan päin ja saavuttavat minimin n. 6–8 luston päässä ytimestä. Näin ollen kuusen nuor- eli ydinpuun määränä voidaan pitää hieman alle kymmentä vuosilustoa ja noin 6 cm:n läpimittaa rungossa.

7 Kasvunopeuden vaikutus

Tutkimuksen kohteena ollut aineisto (taulukko 1) jaettiin kahteen osaan: karuihin, hidaskasvuisiin metsiköihin, joissa keskimääräinen lustonleveys oli keskimäärin 1,7 mm ja viljaviin, nopeakasvuisiin metsiköihin, joissa lustonleveys oli keskimäärin 3,3 mm. Nopeakasvuisten kuusten pituuskutistuma oli suurempi puun ytimen lähellä (kuva 6). Uloimmissa vuosilustoissa ero kuitenkin hävisi. Näytteiden välinen vaihtelu oli kuitenkin niin suurta, että ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 5. Kuusen tangentin suuntainen eli lustojen myötäinen kutistuma kasvaa voimakkaasti ytimestä pintaan päin pituuden suuntaisen kutistuman samanaikaisesti pienentyessä. Kutistuman suuruusluokka on kymmenkertainen pituuden suuntaiseen kutistumaan verrattuna.



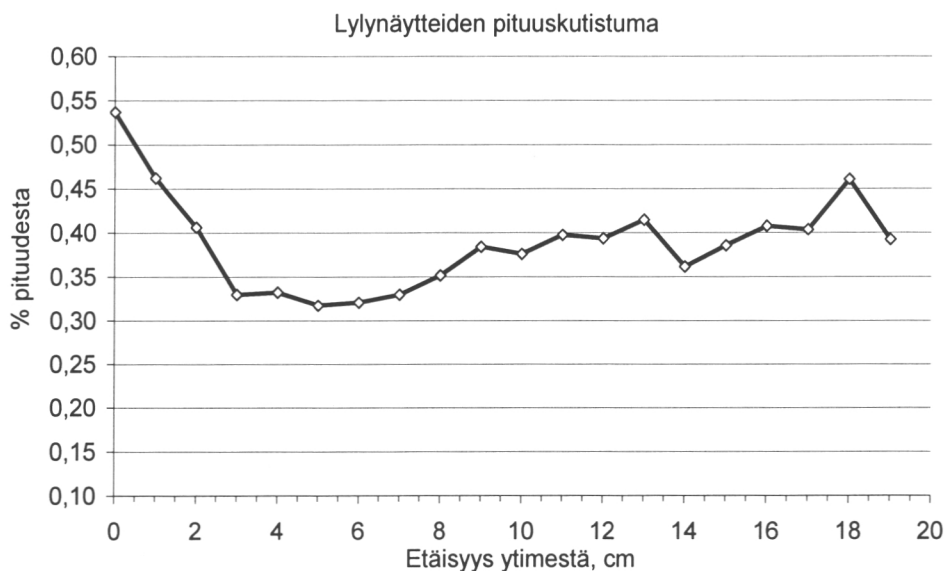
Kuva 6. Kasvunopeuden vaikutus pituuden suuntaiseen kutistumaan. Laskettu keskiarvona kaikilta korkeuksilta. Hidaskasvuisten puun (keskimääräinen lustonleveys 1,7 mm) pituuden suuntainen kutistuma jäi alhaisemmaksi kuin nopeakasvuisten puun (lustonleveys 3,3 mm). Vertailukohteena on erittäin nopeakasvuinen kuusikloonიაineisto (8 runkoa), jossa lustonleveys on yli 6 mm.

Vertailukohteena oli myös erittäin nopeakasvuinen kuusikloonaineisto, jossa keskimääräinen lustonleveys ylitti 6 mm. Pituuskutistuma oli normaalikasvuista kuusta huomattavasti suurempi, myös uloimmissa vuosilustoissa (kuva 6). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin myös nopeakasvuisen kuusen puuaineen kutistuvan hidaskasvuista enemmän (Perstorper ym. 2001).

Tulosten perusteella voi kuivauksen jälkeisten muotovikojen olettaa olevan suurempia nopeakasvuissa ja leveälustoissa sahatavarassa kuin kapealustoissa. Kasvunopeuden kiihtyessä myös ydinpuun suhteellinen osuus kasvaa, mikä myös lisää muotovirheitä.

8 Lylyn vaikutus

Lyly on oksien jälkeen sahatavaran pahimpia vikoja. Lylyä sisältävän puutavaran tiedetään kieroutuvan herkästi sekä kuivauksessa että käytön aikana. Pituuden suuntaisen kutistuma olikin voimakkain lylyä sisältävissä rungon osissa (0,5–0,3 %, kuva 7). Tulos oli odotettu, sillä kuusen lylyn solujen mikrofibrillikulma on noin 45 astetta (Andersson ym. 2000). Virheettömän puuaineksen solujen mikrofibrillikulma on alle 10 astetta. Lylynäytteiden pituuskutistuma aleni ytimestä pintalustoihin päin (kuva 7) kuten virheettömän puuaineenkin.



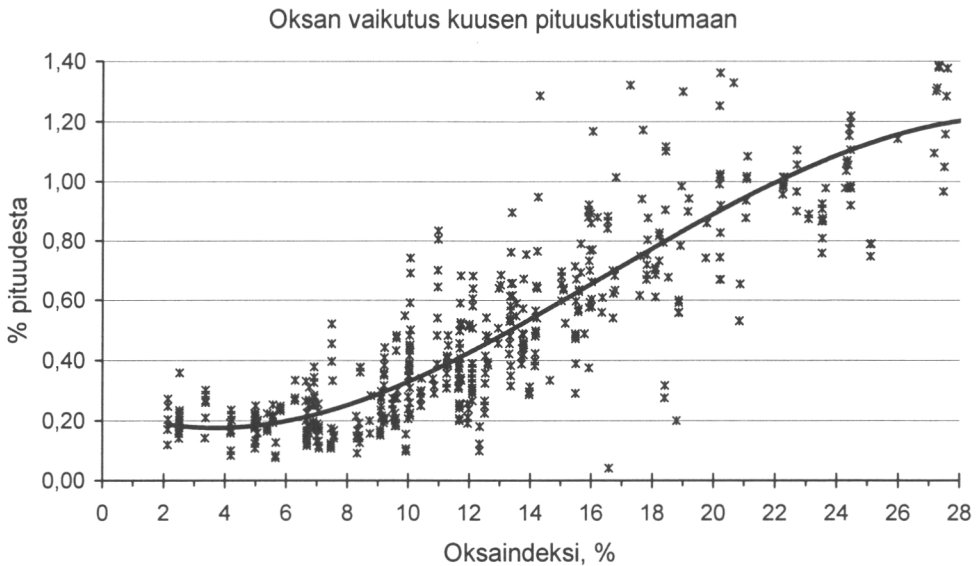
Kuva 7. Lylyä sisältäneiden näytteiden pituuden suuntainen kutistuma. Lyly kutistui voimakkaimmin ytimen lähellä ja kaiken kaikkiaan pituuden suuntainen kutistuma oli kaksinkertainen virheettömään puuaineeseen verrattuna.

9 Oksien ja syysuunnan vaihtelun vaikutus

Oksat lisäävät saheiden muodonmuutoksia, sillä oksa aiheuttaa aina syiden kulku-suunnan muutoksen. Oksan vaikutuksen tutkimiseksi, sahattiin näytekappale myös kunkin oksakiehkuran kohdalta, niin että näytteen jommallekummalle puolelle jäi yksi oksa (vrt. kuva 2). Kuvassa 8 on kuvattu pituuden suuntainen kutistuma suhteessa oksan kokoon näytteessä. Mitä suurempi oksa oli halkaisijaltaan, sitä suurempi oli myös pituuden suuntainen kutistuma, yltäen aina puoleentoista prosenttiin. Koekappale oli kuitenkin suhteellisen pieni oksan kokoon nähden (vrt. kuva 2). Myös ruotsalaisissa tutkimuksissa on havaittu oksien koon merkitys kutistumalle. Suuret oksat aiheuttivat pituuden suuntaisen kutistuman kaksinkertaistumisen oksattomiin näytteisiin verrattuna (Perstorper ym. 2001). Saman tutkimuksen mukaan syysuunnalla on myös selvä vaikutus puun kutistumiseen. Syysuunta oli noin kolme astetta vasenkierteinen ytimen lähellä ja muuttui suorasyiseksi 150 mm päässä ytimestä. Nopeakasvuinen puu oli kierresyisempää kuin hidaskasvuinen.

10 Sahatavaran muotoviat

Sahatavaran muotovirheet olivat suurimmat ytimen sisältävissä saheissa (kuva 8). Pahin muotovioista oli kieroutuminen, joka ydinlaudoissa oli lähes kolminkertainen verrattuna lankkuihin tai pintalautoihin. Muut muotoviat, kuten lape- ja syrjävääritys



Kuva 8. Oksan läpimitan vaikutus uloimpien lustojen pituuden suuntaiseen kutistumaan. Oksaindeksi kuvaa oksan läpimitan suhdetta tutkitun koekappaleen kokoon (korkeus 200 mm) lapeessa. Mitä suurempi oksa on, sitä suurempi on sen vaikutus syiden suuntautumiseen ja edelleen pituuden suuntaiseen kutistumaan.

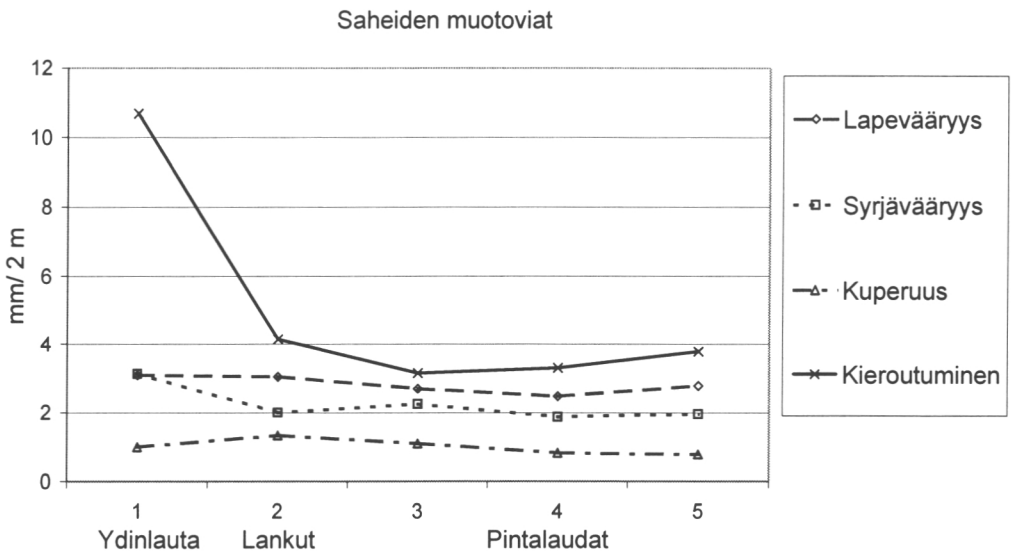
sekä kuperuus, olivat lähes samansuuruisia kaikissa saheissa. Syrjävääryys oli hie- man pienempi pintalautoissa kuin ydinlaudoissa (kuva 8).

Kasvunopeudella eli luston leveydellä ei ollut vaikutusta sydänlankkujen kierou- tumiseen, mutta hidaskasvuisen kuusen pinta- eli sivulautojen muodonmuutokset olivat suuremmat kuin nopeakasvuisen (kuva 9). Syynä saattaa olla hidaskasvuisen puun kapeiden lustojen suurempi kesäpuuosuus, mikä lisää kutistumista kuivauksen aika- na. Myös ruotsalaiset ovat saaneet samantapaisia tuloksia kasvunopeuden vaikutuk- sesta (Perstorper ym. 1995).

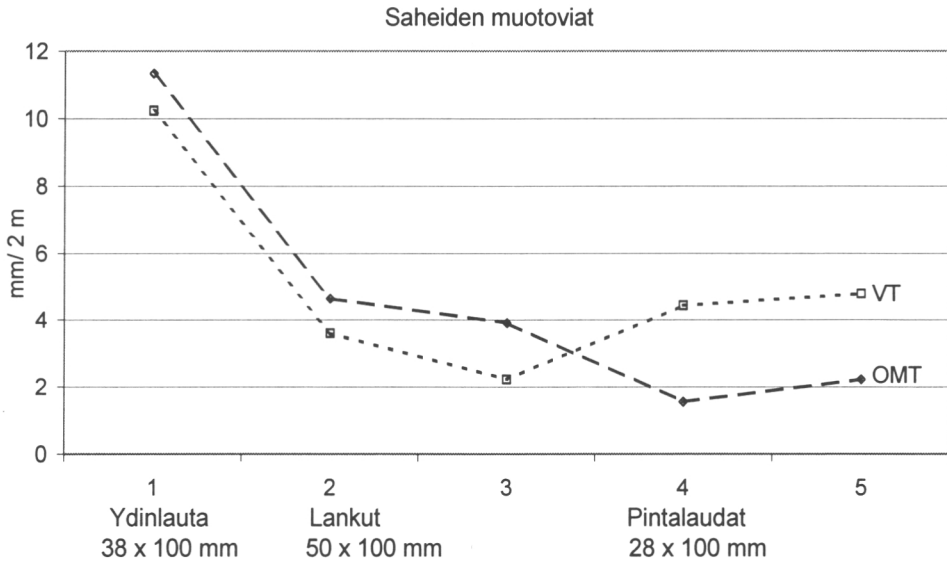
Sydän- eli ydinvapaalla sahauksella saadaan lankkujen kieroutumista vähennettyä huomattavasti (kuva 10). Hajonta oli kuitenkin suurempaa ydinvapaiden saheiden osalta, mikä saattaa johtua saheiden erilaisesta sijainnista rimapaketissa. Paketin ala- osissa sijainneet saheet pysyivät painon alla suurempina.

II Kuivausvirheiden vähentäminen

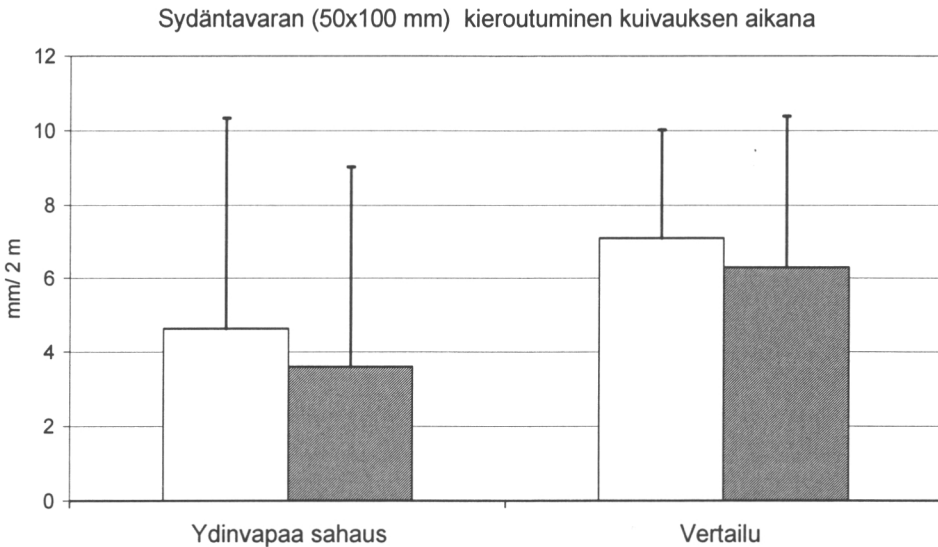
Sahatavaran muotovirheet olivat suurimmat ytimen sisältävissä saheissa, joiden kie- routuminen on pahin kaikista muotovioista. Kasvunopeudella ei ollut vaikutusta sy- dänlankkujen kieroutumiseen, mutta hidaskasvuisen kuusen pinta- eli sivulautojen muodonmuutokset olivat nopeakasvuisia suuremmat. Syynä saattaa olla kapeiden lustojen suurempi kesäpuuosuus, mikä lisää puun kutistumista kuivauksen aikana. Tämän tutkimuksen saheet kuivattiin keskimäärin 12 prosentin kosteussuhteeseen.



Kuva 9. Ydinlaudan (38 x 100 mm), lankkujen (50 x 100 mm) ja pintalautojen (22 x 100 mm) muotovirheet kuivauksen jälkeen. Kieroutuminen oli selvästi suurinta ytimen sisältävissä saheissa (1). Myös syrjävääryys oli pienempi pintalautoissa (3–4) kuin ytimen sisältävissä saheissa.



Kuva 10. Kieroutuminen on voimakkainta ytimen sisältävissä sydänlaudoissa. Karun kasvupaikan (VT) kuusen sahatavaran kieroutuminen lisääntyy uloimmissa pintalauoissa. Syynä saattaa olla kapeiden lustojen suurempi kesäpuuosuus, mikä lisää kutistumista kuivauksen aikana.



Kuva 11. Sydän- eli ydinvapaalla sahauksella saadaan lankkujen kieroutumista vähennettyä huomattavasti. Ydinvapaissa saheissa oli kuitenkin enemmän vaihtelua, mikä saattaa johtua saheiden erilaisesta sijainnista rimapaketissa. Päälimmäisenä olleet laudat ja lankut kieroutuivat eniten.

Muotovirheet saattavat pahentua vielä alemmissa kosteussuhteissa. Ruotsalaistutkimuksessa mukaan kuusisaheiden kieroutuminen kasvoi kaksinkertaiseksi kun kosteusuhde aleni viidestätoista seitsemään prosenttiin (Johansson ym. 2001).

Muotovirheitä on hankala vähentää. Ainoa keino on välttää ytimen sisältäviä saheita ja suosia ydinvaapaata sahausta. Sydänlaudan paksuuden tulisi kuitenkin olla vähintään 50 mm, jotta ydinpuun aiheuttamat ongelmat kuivauksessa voidaan välttää.

Kiitokset

Kiitokset näytteiden keräämisestä ja mittaamisesta Harri Jussilalle, Jukka Lehtimäelle, Juha Metrokselle, Erkki Salolle, Veijo Salolle ja Tapio Nevalaiselle. Tapio Järviselle erityiset kiitokset kutistumisnäytteiden valmistuksesta ja huolellisesta mittauksesta.

Kirjallisuus

- Andersson, S., Serimaa, R., Saranpää, P., Pesonen, E., Torkkeli, J. & Paakkari, T. 2000. Microfibril angle of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) compression wood: comparison of measuring techniques. *Journal of Wood Science* 46: 343–349.
- Johansson, M., Perstorper, M., Kliger, R., Johansson, G. 2001. Distortion of Norway spruce timber. Part. 2. Modelling twist. *Holz als Roh- und Werkstoff* 59: 155–162.
- Perstorper, M., Johansson, M., Kliger, R., Johansson, G. 2001. Distortion of Norway spruce timber. Part. 1. Variation of relevant wood properties. *Holz als Roh- und Werkstoff* 59: 94–103.
- Perstorper, M., Pellicane, P.J., Kliger, R., Johansson, G. 1995. Quality of timber products from Norway spruce. Part 2. Influence of spatial position and growth characteristics on warp. *Wood Science and Technology* 29: 339–351.
- Pohjoismainen sahatavara - lajitteluohjeet. 1994. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys. 64 s. + 16 liitettä.
- Saranpää, P. 1994. Basic density, longitudinal shrinkage and tracheid length of juvenile wood of *Picea abies* Karst. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 68–74.

Kuusisahatavaran värimuutokset kuivauksessa

Jaakko Repola¹ ja Veikko Tarvainen²

¹Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

²VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Sahatavaran keinokuivauksessa on viime vuosina käytetty entistä nopeampia kuivauskaavoja. Tämä on merkinnyt entistä korkeampien kuivauslämpötilojen käyttöä. Samalla myös kuivausviat, etenkin väriviadat ovat yleistyneet. Värivikojen aiheuttajina on pidetty erilaisten uuteaineiden (mm. ravinteet) rikastumista saheen pintaan kuivauksen aikana. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuivauslämpötilan ja -tavan, puun kaatoajankohdan, kastelutarastoinnin sekä kasvupaikan viljavuuden vaikutusta sahatavaran kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin. Kuivauslämpötila oli merkittävin värivikojen aiheuttaja. Väriviadat olivat sitä voimakkaampia mitä korkeampaa kuivauslämpötila oli käytetty. Höyläyksen avulla (2 mm) ei voitu kokonaan poistaa eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden välisiä värieroja. Alipainekuivauksessa saheiden väriviadat olivat vähäisempiä kuin kamarikuivauksessa. Kaatoajankohdan, kastelutarastoinnin ja kasvupaikan viljavuuden merkitys värivikojen syntyyn oli käytännön kannalta vähäinen.

I Johdanto

Sahatavaran kuivauksen tavoitteena on sahatavaran säilyvyyden, jalostus- ja käyttöominaisuuksien parantaminen. Puun kosteuden alentaminen vaikuttaa puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin, työstettävyyteen, liimattavuuteen, kyllästettävyyteen, pintakäsittelyominaisuuksiin sekä sähköjohtokykyyn. Keinokuivauksessa kuivauskaavan avulla säädellään lämpötilaa ja suhteellista kosteutta kuivauksen eri vaiheissa. Mitä nopeampi kuivaus on ja mitä alhaisempaan loppukosteuteen puutavara kuivataan, sitä herkemmin syntyy kuivausvikoja. Kuivausviadat voivat näkyä heti kuivauksen jälkeen tai myöhemmin jatkokäsittelyssä. Kuivausvikoja ovat pintakovuus, halkeamat, muodonmuutokset ja värimuutokset. Väriviadat syntyvät yleensä kuivauksen alkuvaiheessa, jolloin veden haihtuminen puusta on nopeaa. Korkea lämpötila ja korkea kosteus lisäävät värivikojen syntyä.

Yhtenä syynä etenkin pintapuun värimuutoksiin on pidetty erilaisten vesiliukoisten uuteaineiden, kuten sokereiden ja typpiyhdisteiden rikastumista saheen pintaan kuivauksen aikana (Sehlstedt-Persson 1995, Terziev 1996). Nämä yhdisteet voivat reagoida edelleen keskenään ja näin syntyvä yhdiste on voimakkaan värinen. Ravinteiden rikastuminen pintaan on sitä voimakkaampaa pintaan mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytetään. Männyllä sokeripitoisuudet kuivauksessa nousevat saheen pinnassa jopa 5–6-kertaiseksi ja typpipitoisuus 2–3-kertaiseksi (Terziev 1996). Ra-

vinteiden rikastuminen saheen pintaan on sitä voimakkaampaa mitä korkeampi on puun ravinnepitoisuus. Se vaihtelee mm. eri vuodenaikoina (Boutelje 1990, Terziev 1996).

Sokerien määrä on syksyllä ja talvella jopa nelinkertainen kevääseen ja kesään verrattuna (Höll 1985, Fischer & Höll 1992, Terziev 1996). Tärkkelyksen määrä puolestaan kasvaa kasvukauden alussa ja laskee syksyllä. Ravinteiden määrä mantopuussa kasvaa pintaa kohti. Sydänpuussa ja pintapuun sisäosissa ei ole merkittäviä määriä vesiliukoisia yhdisteitä (Helmisaari & Siltala 1989, Saranpää & Höll 1989, Fischer & Höll 1992, Terziev 1996). Sydänpuun muodostumisen myötä rasvaliukoisten uuteaineiden määrä puolestaan kasvaa puun ytimessä. Sydänpuussa on huomattavasti enemmän vapaita rasvahappoja, hartsihappoja ja fenoleita kuin pintapuussa (Saranpää ym. 1995). Tukkien kasteluvarastointi vaikuttaa puun ravinnemääriin. Lyhytketjuiset sokerit ja tärkkelys hajoavat ja muuntuvat hitaasti, ja saattavat hävitä männyn uloimmasta pintapuusta kokonaan. Myös erilaiset pihka-aineet kuten hartsihapot vähenevät (Saranpää ym. 1995).

Sahatavaran kuivauksessa syntyviä värimuutoksia on yritetty vähentää muuttamalla kuivaustapoja ja -kaavoja sekä käsittelemällä sahatavara ennen kuivausta. Kuivauskaavan ja -tavan valinnalla voidaan vähentää värimuutoksia, mutta niitä ei voida kokonaan poistaa. Kuivauslämpötila on merkittävä tekijä, jolla voidaan säädellä saheen värimuutoksen syntyä. Kuivauksen lopputulosta voidaan parantaa käyttämällä alhaisia kuivauslämpötiloja (Kreber & Haslett 1997). Myös erilaisia kuivauslämpötilojen yhdistelmiä on kokeiltu. Käyttämällä alhaista lämpötilaa kuivauksen alkuvaiheessa ja nostamalla asteittain lämpötilaa on voitu vähentää radiatamännyn värimuutoksia. (Laytner 1995). Säätelämällä kuivauksen aikana ilman kosteutta ja kiertoilman nopeutta voidaan vaikuttaa myös värimuutosten syntyyn. Alipaine kuivauksella on voitu sen nopeuden ansiosta vähentää värimuutoksia samassa lämpötilassa tehtyyn kamarikuivaukseen verrattuna.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten kuusisahatavaran värimuutoksia kuivauksessa voidaan vähentää. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puun kaatoajankohdan, kasvupaikan viljavuuden ja puutavaran varastoinnin, kuivaustavaran sekä kuivauslämpötilan vaikutuksia sahatavaran värimuutoksiin kuivauksessa sekä niiden merkitystä jatkojalostuksen kannalta.

2 Aineisto ja menetelmät

Puun kaatoajankohdan, kasteluvarastoinnin, kasvupaikan viljavuuden sekä kuivauslämpötilan vaikutusta kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin tutkittiin kamarikuivauskokeilla. Kuivauslämpötiloja oli neljä; 50, 70, 90 ja 110 astetta. Koemateriaali kerättiin sekä viljavalta ($H_{100}=32,2$ m) että karulta ($H_{100}=22,2$ m) kasvupaikalta. Puun kaatoajankohtia oli kolme; talvi (22.2.), kevät (6.5.) ja syksy (2.10.). Kasteluvarastoinnin puut kaadettiin keväällä. Varastointi kesti kuusi viikkoa. Koeleimikot valittiin Metsäntutkimuslaitoksen Vesijaon tutkimusalueelta. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty mitattuja koepuutunnuksia kasvupaikoittain ja kaatoajankohdittain.

Taulukko 1. Koepuiden puustotiedot kasvupaikoittain.

Kasvupaikka	D, cm	H, m	Tiheys, kg/m ³		
			Keskim.	Pintapuu	Sydänpuu
Viljava	28,1	24,1	355	356	352
Karu	27,0	21,9	414	420	405

Taulukko 2. Koepuiden kosteusprosentit eri hakkuuajankohtina.

Kasvupaikka	Kosteus %, pintapuu			Kosteus %, sydänpuu		
	Talvi	Kevät	Syksy	Talvi	Kevät	Syksy
Viljava	163,2	170,8	157,5	89,5	64,8	49,3
Karu	128,2	139,4	104,1	41,7	46,3	36,0

Kuivaustavan vaikutusta sahatavaran värimuutoksiin tutkittiin alipaine- ja kamari-kuivauskokeilla. Kuivauslämpötila oli 70 astetta. Aineisto koostettiin syksyllä kaadettujen puiden saheista.

Hakkuuajankohdittain kaadettiin kaksi koepuuta molemmilta kasvupaikoilta. Tukit sahattiin tuoreena sekä osa keväällä kaadetuista tukeista kuuden viikon kasteluvastoinnin jälkeen. Tukit sahattiin kenttäsirkeillä nelisahauksena ja sivulaudat särmättiin. Nimellispaksuus oli pintalautoilla 25 mm ja sydäntavaralla 38 mm. Saheet katkottiin 120 cm pitkiksi koekappaleiksi ja kuivattiin puusepänkuiviksi (8–10 %). Kamarikuivauskokeet tehtiin VTT:n Vanicek-koekuivaamossa Otaniemessä ja alipainekuivaukset Hildebrandt alipainekuivaamossa Mikkelin ammattikorkeakoulun Ympäristötekniikan Instituutissa (YTI).

Saheiden väri mitattiin värimittarilla sekä ennen kuivausta että kuivauksen jälkeen. Värin syvyyttä koekappaleessa tutkittiin höyläämällä kuivatun saheen pinnasta pois ensin 0,5 mm ja sitten 1,5 mm, ja mittaamalla väri höyläyskertojen jälkeen. Värimittauspisteitä oli pääsääntöisesti 6 kpl per koekappale. Mittauspisteen halkaisija oli 2 cm. Värimittaukset tehtiin Minoltan spektrofotometrillä (500 sarja). Tulokset esitetään CIELAB-menetelmän mukaisen väriavaruuden arvoina L, a* ja b*. L tarkoittaa vaaleusastetta. Täysin valkoisella kappaleella L*arvo on 100 ja täysin musta kappale arvon 0. Kappaleen ollessa täysin vihreä komponentti a* saa arvon -100 ja sen ollessa täysin punainen arvon +100. Vastaavasti pinnan ollessa täysin sininen b* arvo on -100 ja sen ollessa täysin keltainen +100. L komponenttia nimitetään vaaleusasteeksi, a* komponenttia punaisuudeksi ja b* komponenttia keltaisuudeksi. Mitattua lukusarjaa (L, a*, b*) voidaan kuvata esitettyjen kolmen komponentin muodostamana väriavaruuden vektorina. Tutkittaessa värin muutosta voidaan tarkastella kunkin komponentin muutosta erikseen sekä laskea kokonaisvärinmuutos (ΔE). Se on kahden väriavaruuden vektorin erotusvektorin pituus

$$(\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}).$$

Silmin havaittava värimuutos tai väriero on 2–4 yksikköä.

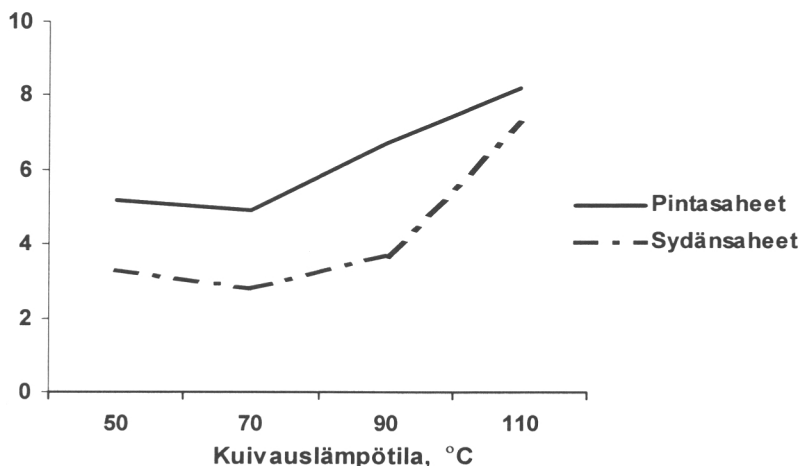
3 Tulokset

3.1 Kuivauslämpötila

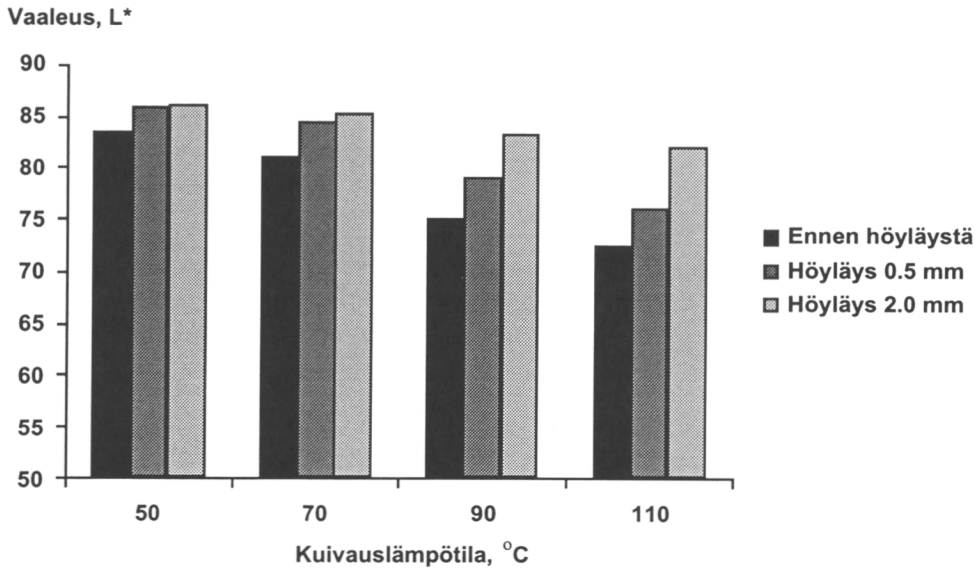
Kuivauslämpötila oli merkittävin tekijä kuusisahatavaran värimuutoksissa. Saheen värimuutos (ΔE) oli sitä voimakkaampi mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytettiin. Värimuutokset olivat lieviä 50 asteen kuivauslämpötilassa ja saheiden väri oli lähellä tuoreen saheen väriä. Saheiden värimuutos olikin vaalenemista sekä keltaisuuden ja punaisuuden vähenemistä tuoreeseen saheeseen verrattuna. Jo 70 asteessa saheiden tummuminen ja kellastuminen lisääntyivät selvästi 50 asteen kuivauslämpötilaan verrattuna. Lämpötilan nosto 110 asteeseen lisäsi lähinnä saheiden tummumista. Korkean lämpötilan käyttö ei lisännyt pelkästään värimuutoksia, vaan koekappaleiden välinen värihajonta kasvoi. Kuivauslämpötilan nosto vaikutti voimakkaammin pintasaheiden värimuutoksiin kuin sydänsaheiden värimuutoksiin (kuva 1). Pintasaheiden värimuutokset olivat keskimäärin 6,4 yksikköä ja sydänsaheiden 3,9 yksikköä. Pintasaheissa voimakkaita värimuutoksia ilmeni alhaisemmissa kuivauslämpötiloissa. Pintasaheiden tummuminen oli korkeissa lämpötiloissa ja kellastuminen matalissa kuivauslämpötiloissa voimakkaampaa kuin sydänsaheissa. Sydänsaheissa voimakkaat värimuutokset alkoivat vasta 110 asteen kuivauslämpötilassa.

Kuivauksessa syntynyt värimuutos ulottui sitä syvemmälle saheeseen mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Höyläyksellä voitiin pienentää eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden välisiä sekä pinta- ja sydänpuun välisiä värieroja. Höyläyksen jälkeen väriero 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli vähäinen. Myös 90 ja 110 asteessa kuivatut saheet vaalenivat selvästi höyläyksellä, mutta jäivät tum-

Kokonaisvärimuutos, ΔE



Kuva 1. Kuusen pinta- ja sydänsaheiden kokonaisvärimuutos kuivauksessa.



Kuva 2. Kuusen pintasaheiden vaaleus (L*) ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen.

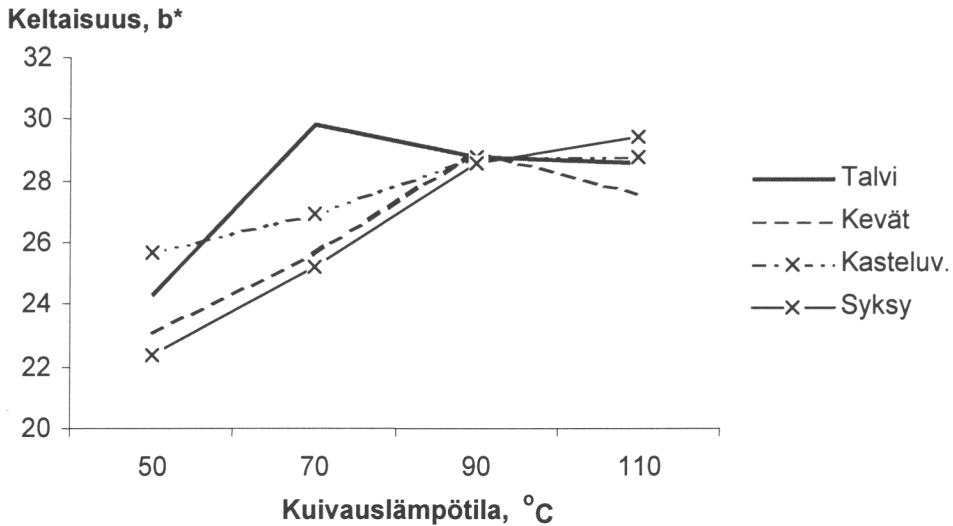
memmiksi, keltaisemmiksi ja punaisemmiksi kuin alemmissa lämpötiloissa kuivatut saheet (kuva 2).

Pintasaheissa värjäytyneen kerroksen paksuus oli riippuvaisempi kuivauslämpötilasta kuin sydänsaheissa. Pintalaudoissa tummuminen ulottui syvemmälle saheeseen ja keltainen värikerros oli saheen pinnassa. Alhaisissa lämpötiloissa kuivattujen pintasaheiden värikerros hävisi 0,5 millimetrin höyläyksellä. Sen sijaan 90 ja 110 asteissa kuivattujen pintasaheiden väri ulottui selvästi syvemmälle ja kahden millimetrin höyläyksellä ei voitu kokonaan poistaa kuivauksessa syntynyttä värikerrosta. Sydänsaheissa voimakkain värikerros oli aivan saheen pinnassa ja se hävisi jo 0,5 mm:n höyläyksellä. Höyläyksen ulottaminen 0,5–2,0 millimetrin ei juurikaan vaikuttanut lopputulokseen.

3.2 Kaatoajankohta ja kasteluvarastointi

Puun kaatoajankohdan ja kasteluvarastonin merkitys oli vähäinen saheiden värimuutoksiin kuivauksessa. Talvella kaadetuissa puissa värimuutokset olivat keskimäärin 1,3 yksikköä muita kaatoeriä suuremmat. Talvikaadon muita suuremmat värimuutokset näkyivät selvimmin pintasaheissa. Talvella kaadettujen sekä kasteluvarastoitujen puiden sekä pinta- ja sydänsaheet olivat muita tummempia ja keltaisempia kuivauksen jälkeen. Vaaleusero oli jo ennen kuivausta ja saheiden tummumisessa kuivauksen aikana ei ollut eroja eri kaatoajankohtien sekä kasteluvarastoinnin välillä. Talvikaato lisäsi erityisesti pintasaheiden kellastumista alhaisissa kuivauslämpötilassa (kuva 3). Kasteluvarastoinnissa kellastumista oli puolestaan tapahtunut jo varastoinnin aikana.

Puun kaatoajankohdan ja kasteluvarastoinnin merkitys kuivauksessa syntyneeseen värikerroksen paksuuteen oli vähäinen. Saheen höyläämättömässä pinnassa värierot



Kuva 3. Kaatoajankohdan ja kasteluvarestoinnin vaikutus kuusen pintasaheiden keltaisuuteen eri kuivauslämpötiloissa.

olivat osittain vielä havaittavissa, mutta ei enää höylätyssä pinnassa. Jo 0,5 millimetrin höyläys riitti poistamaan suurimmat värierot sekä pinta- että sydänsaheilla.

3.3 Kasvupaikka

Kasvupaikan viljavuuden vaikutus saheiden värimuutokseen oli vähäinen. Viljavan kasvupaikan puissa värimuutokset oli sekä pinta- että sydänsaheilla hieman suuremmat. Pintalaudoissa ainoa selkeä ero ilmeni 70 asteen kuivauslämpötilassa, jossa viljavan kasvupaikan puissa värimuutokset (kellastuminen) olivat hieman suuremmat kuin karun kasvupaikan puissa (taulukko 4). Viljavan kasvupaikan puissa esiintyi enemmän myös voimakkaita värimuutoksia. Saheiden värierot kasvupaikkojen välillä olivat olemattomat höyläyksen jälkeen.

3.4 Alipainekuivaus

Saheiden värimuutokset oli samaa tasoa sekä kamari- että alipainekuivauksessa (kuivauslämpötila 70 astetta). Kuivattujen saheiden värierot kuivaustapojen välillä olivat vähäiset. Alipainekuivaus vähensi hieman saheiden tummuutta, keltaisuutta ja punaisuutta kamarikuivaukseen verrattuna sekä pinta- että sydänsaheilla (taulukko 5). Eri värisävyjen avulla laskettu väriero kuivaustapojen välillä oli pintasaheilla vain 1,3 yksikköä ja sydänsaheilla 1,0 yksikköä. Höylätyssä pinnassa värierot olivat vielä pienemmät.

Taulukko 4. Kuusen pintalautojen värimuutokset (DE) kasvupaikoittain eri kuivauslämpötiloissa (keskihajonnat sulkeissa).

Kasvupaikka	50 °C	70 °C	90 °C	110 °C
Viljava	5,2 (2,0)	6,1 (3,2)	7,0 (2,5)	8,2 (2,8)
Karu	5,2 (1,6)	4,4 (1,9)	6,4 (2,9)	8,2 (2,8)

Taulukko 5. Kuusen pintalautojen eri värisävyyden keskiarvot kuivauksen jälkeen kamari- ja alipaine-kuivauksessa. Kuivauslämpötila 70 astetta (N=14).

	Kamarikuivaus	Alipaine-kuivaus
Vaaleus, L*	82,3	83,5
Punaisuus, a*	3,3	3,0
Keltaisuus, b*	25,0	24,7

4 Tulosten tarkastelua

Kuivauslämpötila oli merkittävin saheiden värimuutoksiin vaikuttava tekijä. Kuivauslämpötilan nosto lisäsi värimuutoksen voimakkuutta sekä saheen pinnassa että saheen sisällä. Korkeat kuivauslämpötilat merkitsivät myös epätasaisempaa lopputulosta eli värihajontaa sekä saheessa että saheiden välillä kasvoi. Tasalaatuisin lopputulos saatiin käyttämällä alhaisia kuivauslämpötiloja (50 ja 70 astetta).

Kuivauslämpötilan vaikutus pinta- ja sydänsaheisiin oli erilainen. Värimuutokset olivat kuusen pintalautoissa suuremmat kuin sydäntavarassa. Alhaisissa kuivauslämpötiloissa (50 ja 70 astetta) kuusen pinta- ja sydänsaheiden vaaleus oli samaa luokkaa, mutta korkeammassa lämpötiloissa pintasaheiden tummuminen oli voimakkaampaa. Pintasaheissa kellastuminen oli myös voimakkaampaa alle 90 asteen lämpötiloissa kuin sydänsaheissa. Wiberg (1996) on esittänyt vastaavanlaisia tuloksia pinta- ja sydänsaheiden tummumiseroista kuivauslämpötilan noustessa 50 asteesta 70 asteeseen.

Kuivauksessa syntyvä värikerros oli sitä paksumpi mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Tässä tutkimuksessa 2 mm:n höyläys riitti poistamaan värierot 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden väliltä, mutta värierot eivät täysin hävinneet korkeimmassa ja matalimmassa lämpötiloissa kuivattujen saheiden väliltä. Huomattavaa oli, että korkeissa, 90 ja 110 asteen lämpötiloissa kuivatut saheet eivät saavuttaneet 2 mm:n höyläykselläkään 50 asteessa kuivattujen saheiden höyläämättömän vaaleustaso. Korkeissa lämpötiloissa saheiden väri oli ilmeisesti muuttunut kauttaaltaan. Värierot 90 ja 110 asteessa kuivattujen saheiden välillä olivat vähäiset höyläyksen jälkeen.

Kuivauksessa värjäytyvän pintakerroksen paksuus oli erilainen pinta- ja sydänsaheissa. Sydäntavarassa voimakkain värikerros oli saheen pinnassa (0–0,5 mm). Pintasaheissa kuivauslämpötilan vaikutus värikerroksen paksuuteen oli voimakkaampi.

Matalissa lämpötiloissa kuivattujen pintasaheiden voimakkain värikerros hävisi 0,5 mm:n höyläyksellä, mutta korkeissa kuivauslämpötiloissa (90 ja 110 astetta) värimuutos ulottui tätä syvemmälle saheessa. Wibergin (1996) tutkimuksen mukaan 70 asteessa kuivatut pintalaudat olivat 3 mm:n höyläyksen jälkeen tummempia kuin 50 asteessa kuivatut. Tämän tutkimuksen mukaan vastaavissa lämpötiloissa kuivattujen lautojen tummuuserot pienenevät jo 2 mm:n höyläyksen jälkeen.

Värimuutoserot kamari- ja alipaine kuivattujen saheiden välillä olivat vähäiset 70 asteen lämpötilassa. Alipaine kuivaus vähensi hieman saheiden tummuutta, keltaisuutta ja punaisuutta kamarikuivaukseen verrattuna. Saheen höylätyssä pinnassa värierot kuivaustapojen välillä olivat merkityksettömät. Alipaine kuivauksessa värimuutoksen synty ei ole yhtä voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta kuin kamarikuivauksessa, ja alipaine kuivauksen hyöty tulee esiin korkeammassa kuivauslämpötiloissa. Wastneyn ym. (1997) tutkimuksessa alipaine kuivaus vähensi radiatamännyn pintapuun värimuutoksia kamarikuivaukseen verrattuna erityisesti 90 asteen lämpötilassa.

Kaatoajankohdan sekä kastelutarastoinnin merkitys saheiden värimuutoksiin oli käytännön kannalta vähäinen. Höyläämättömässä pinnassa värierot olivat osittain vielä havaittavissa, mutta ei enää höylätyssä pinnassa. Talvikaato lisäsi hieman saheiden värimuutoksia kuivauksessa. Talvikaadon muita korkeammat värimuutokset näkyivät selvimmin pintasaheissa. Talvikaadon sekä kastelutarastoitujen puiden saheiden värisävyt olivat kuivauksen jälkeen kevät ja syyskaatoa voimakkaammat; selvimmin värisävyerot näkyivät saheiden vaaleudessa ja keltaisuudessa. Saheiden keltaisuuserot syntyivät yleensä matalissa lämpötiloissa. Talvella kaadettujen ja kastelutarastoitujen puiden saheet olivat jo ennen kuivausta muita tummempia, ja sydäntavaran keltaisuus oli muita voimakkaampaa. Yksi syy tuoreen puun väriarvojen eroihin on puun kosteuden vaihtelu; kosteuden kasvu puussa merkitsee myös vaaleustason alenemista (Wiberg 1996). Tuoreen puun kosteus on suurimmillaan kasvukauden ulkopuolella (Hakkila 1961).

Kasvupaikan viljavuuden merkitys saheiden kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin oli vähäinen. Sekä viljavan että karun kasvupaikan puiden värimuutokset olivat kuivauksessa samaa luokkaa. Höylätyssä pinnassa värieroja ei ollut. Puuaineen ominaisuudet erosivat eri kasvupaikkojen puiden välillä siten, että viljavalla kasvupaikalla kuivatuoretiheydet olivat alhaisempia kuin karulla. Kun eri kasvupaikkojen puiden välillä ei ilmennyt värimuutoseroja, voidaan olettaa, että puun kuivatuoretiheyden merkitys kuivauksessa tapahtuviin värimuutoksiin on myös vähäinen. Kuivatuoretiheys on yhteydessä myös puun kosteussuhteeseen. Pintapuun kuivatuoretiheyden kasvu merkitsee myös korkeampaa kosteussuhdetta (Tamminen 1964). Näin oli myös tässä tutkimuksessa. Tuoreen puun kosteustason on arveltu vaikuttavan sekä ravinteiden rikastumiseen saheen pintaan kuivauksessa että myös värimuutukseen voimakkuuteen kuivauksessa (Boutelje 1990). Tässä tutkimuksessa kuusen pintasaheiden värimuutokset eivät kuitenkaan poikenneet karun ja viljavan kasvupaikan välillä.

Kirjallisuus

- Boutelje, J. B. 1990. Increase of the content nitrogenous compounds at lumber surface during drying and possible biological effects. *Wood Sci. Technol.* 24: 191–200.
- Fischer, C. & Höll, W. 1992. Wood reserves in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II Seasonal changes and radial distribution of carbohydrate and fat reserves in pine wood. *Trees* 6: 147–155.
- Hakkila, P. 1961. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 54(6): 1–34.
- Helmisaari, H.-S. & Siltala, T. 1989. Variaton in nutrient concentration of *Pinus sylvestris* stems. *Scand. J. For. Res.* 4: 443–451.
- Höll, W. 1985. Seasonal fluctuation of reserve materials in the trunkwood of spruce (*Picea abies* L. Karst.) *J. Plant Physiol.* 117:355–362.
- Kreber B. & Haslett, A. N. 1997. A study of some factors promoting kiln brown stain in radiata pine. *Holz Roh Werkstoff* 55.
- Laytner, F. L. 1995. Tacking problems stains. *NZ Forest industries* 26 (5): 31–32.
- Saranpää, P. & Höll, W. 1989. Soluble carbohydrates of *Pinus sylvestris* L. sapwood and heartwood. *Trees* 3: 138–143.
- Saranpää, P., Laakso, T. & Voipio, R. 1995. Changes in the amount and composition of sapwood extractives of *Pinus sylvestris* L. during wet storage. *Käsikirjoitus*.
- Sehlstedt-Persson, S. M. B. 1995. High-temperature drying of Scots pine. A comparison between HT- and LT-drying. *Holz Roh-Werkstoff.* 53: 95–99.
- Tamminen, Z. 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II Gran. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. II Norway spruce. *Rapp. Uppsats. Inst. Virkeslära Skogshögsk.* 47: 1–124.
- Terziev, N. 1996. Low-molecular weight sugars and nitrogenous compounds in Scots pine. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Wastney, S., Bates R., Kreber, B. & Haslett, A. 1997. The potential of vacuum drying to control kiln brown stain in radiata pine. *Holzforschung und Holzvertung.* 49;3, 56–58
- Wiberg, P. 1996. Colour changes of Scots pine and Norway spruce. A comparison between three different drying treatments. *Holz Roh Werkstoff* 54(5):349–354.

Kuusen pystykarsinta

*Aili Tuimala, Jukka Lehtimäki, Jaakko Repola ja Pentti Sairanen
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus*

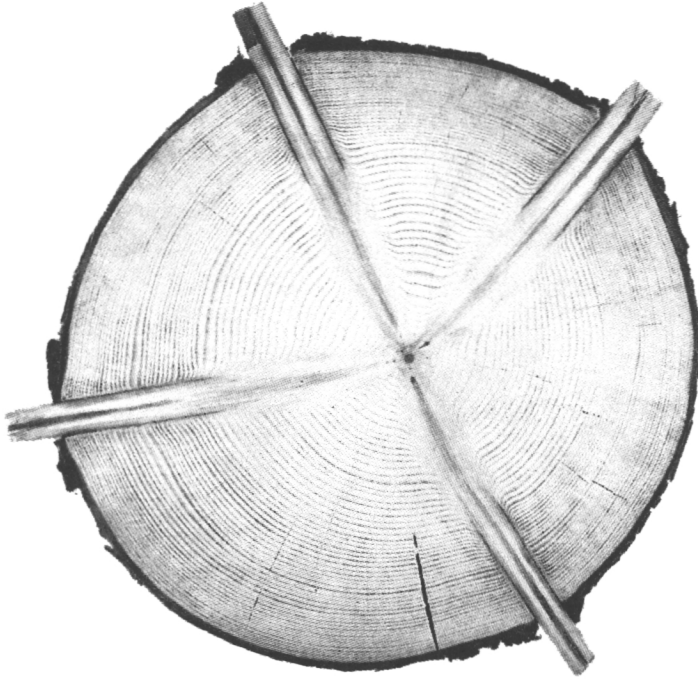
Suomessa kuusen pystykarsintaan suhtaudutaan kielteisesti. Keski-Euroopassa ja muissa Pohjoismaissa kuusen karsinnasta on saatu hyviä tuloksia (mm. Vadla 1989). Suomen negatiivinen asenne perustunee Lakarin (1920) tutkimukseen. Hän osoitti vakuuttavasti, että kuusen rungot saavat erittäin pahoja lahovaurioita karsimisesta ja kasvu kärsii, erityisesti paksuuskasvu rungon alaosassa. Tutkitut puustot olivat kuitenkin täysin sopimattomia nykykäsityksen mukaiseen pystykarsintaan: "Kotitarvehakkuiden vaikutuksesta ovat metsät verraten harvoja ja eri-ikäisiä harsintametsän luontoisia." Karsinta tehtiin ensisijaisesti hakojen hankkimiseksi kotieläinten kivi- ja kuivikkeeksi, joten valinta kohdistui mahdollisimman runsashavuisiin puihin. Puiden paksuus rinnankorkeudelta oli karsittaessa 5–7 tuumaa (n. 13–18 cm). Karsinta tehtiin joko kirveellä tai sahalla ja latvuspituudesta karsittiin 35–65 %. Kahdenkymmenen vuoden päästä karsittuja puita ei enää tahtonut löytyä, ne oli joko myyty tai pystyyn kuivaneina hakattu kotitarpeeksi.

I Kuusen oksaisuus

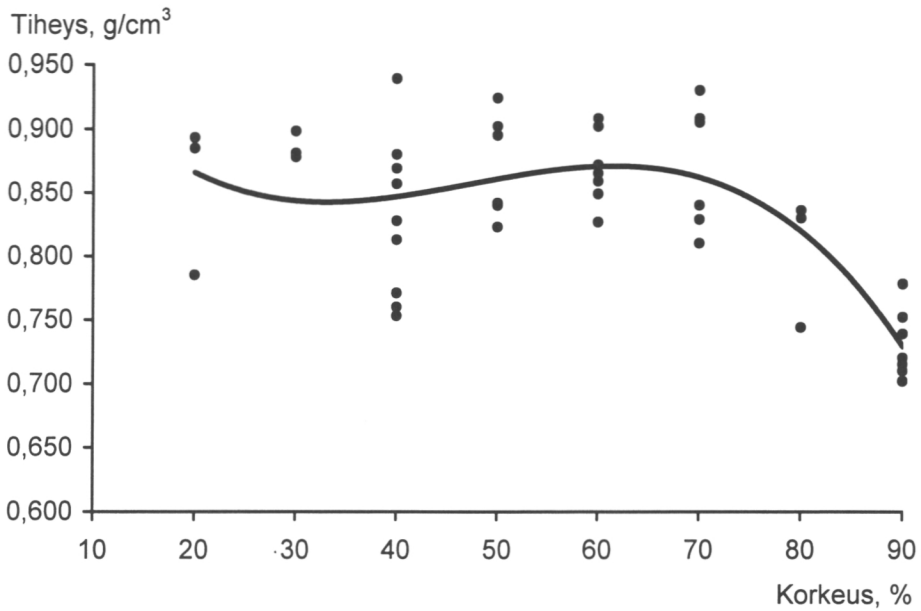
Kuusessa on oksia lukumääräisesti enemmän kuin männyssä. Kuusen oksat kasvavat mäntyä epäyhtenäisempinä kiehkuroina ja kiehkuroiden välillä esiintyy kiehkuraoksia pieniläpimittaisempia välioksia. Kuusi on varjopuu, jossa latvuksen alaosa säilyy pitempään elävänä kuin männyssä. Kuolleet oksat karsiutuvat hyvin hitaasti. Runгон kasvaessa paksuutta kuivat kuoripäälliset oksantyyvet hautautuvat rungon puuaineen sisään keskenään eripituisina puikkoina (kuva 1). Kuusirunгон tyviosaan ei välttämättä synny lainkaan oksatonta pintaa tai sitä syntyy hyvin vähän. Tyvitukin ulkoisten tunnusten perusteella ei voida luotettavasti päätellä, saadaanko oksatonta sahatavaraa vai ei. Ohuet välioksatkaan eivät karsiudu paljoa paremmin kuin kiehkuroiden oksat, vaan jäävät työstöä haittaavina naulaoksina pilaamaan sahatavaran laatua.

Terveet elävät oksat eivät aiheuta puutavaran käyttöä ajatellen yhtä paljon ongelmia kuin kuivat oksat. Elävä tai juuri kuollut oksa on kokonaan kiinni ympäröivässä puuaineessa ja pysyy siinä, vaikka puu paloitellaan. Kuiva oksa, joka on kokonaan tai osittain kuoren ympäröimä, putoaa puukappaleesta sahauskessa, sorvauksessa tai viimeistään kuivattaessa. Irtoamisen lisäksi oksat usein halkeavat kuivauksen aikana.

Kuusen oksien puuaineominaisuudet eroavat selvästi runkopuun ominaisuuksista. Runгон sisällä olevan oksan osan ns. sisäoksan puuaineen kuiva-tuoretiheys on korkeimmillaan kaksi kertaa suurempi kuin runгон puuaineen kuiva-tuoretiheys (kuva 2). Sisäoksien kosteussuhde on puusyiden kyllästymispisteen alapuolella eli alle 30 %.



Kuva 1. Elävä tai vastakuollut oksa on elimellisessä yhteydessä runkopuuhun. Kuiva, kuoren osittain tai kokonaan ympäröimä oksa on irrallaan ympäröivästä puuaineesta (kuva P. Sairanen).



Kuva 2. Kuusen sisäoksan kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa Ylisen (1971) aineiston mukaan.

Lähes puolet sisäoksen poikkileikkauspinta-alasta on lylysolukkoa. Oksan puuaine on em. ominaisuuksien vuoksi erittäin kovaa, mikä aiheuttaa ongelmia kuusta sahattaessa ja höylättäessä, samoin sorvauksessa.

2 Pystykarsinta laatukasvatuskeinona

Teknisiltä käyttöominaisuuksiltaan korkealaatuista kuusimetsikköä kasvatettaessa olisi olennaista saada oksat pysymään elävinä mahdollisimman pitkään, jopa päätehakuuseen asti. Metsikkö voitaisiin kasvattaa niin harvana, että latvusten alaosat saisivat varttuneessakin riittävästi valoa ja säilyisivät elävinä. Metsänreunoissa tai pihoidilla tavataankin kuusia, joiden latvus on alas asti vihreä. Vaikka kuusen oksat eivät reagoi yhtä voimakkaasti lisääntyneen valotilan aiheuttamaan puun paksuuskasvun lisääntymiseen kuin männyn oksat, tulisi niistä silti haitallisen paksuja. Harvassa kasvatusasennossa myös osa maan kasvuvoimasta jäisi hyödyntämättä. Lannoituksella voitaisiin ehkä pidentää oksien elinikää, kun puun yleisen elinvoiman lisääntymisessä heikosti yhteyttäville alaoksille riittäisi muun latvuksen tuottamaa energiaa elossa pysymiseen. Välioksat kuolisivat joka tapauksessa.

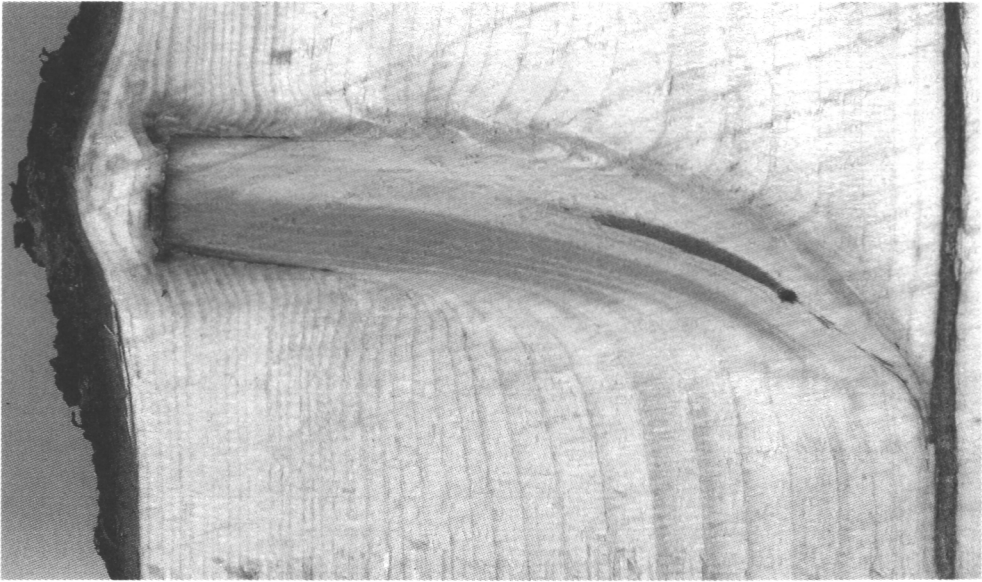
Pystykarsinta on radikaali laatukasvatusmenetelmä, jossa kasvavan puun tyviosan oksat poistetaan joko elävinä tai kuolleina n. 5–6 metrin korkeudelle. Kuusen karsintaa ei ole Suomessa suosittu puun lahonarkuuden vuoksi. Jos karsintaa on haluttu tehdä, on karsittu vain kuivia oksia.

Lahovaurioiden välttämiseksi on kehitelty tai puutarhapuiden karsinnasta lainattu ns. tappikarsinta. Tappikarsinnassa oksa sahataan 5–25 cm:n tynkään, joka poistetaan myöhemmin. Lopullisessa rungonmyötäisessä karsinnassa oksahaava jää uudelleen alttiiksi lahotartunnoille. Nopean kyljestymisen etu menetetään ja kaksinkertainen käsittely lisää kustannuksia.

Karsittu kuusi, samoin kuin lehtikuusikin, kyljestyy nopeammin kuin karsittu mänty, sillä niiden kyljestymistapa on erilainen. Kuusella uudet vuosilustot ikäänkuin liukuvat peittämään oksahaavaa, kun taas männyllä uudet lustot vyöryvät palteena haavan päälle. Kyljestyvän oksahaavan päälle syntyy männyllä jokseenkin yleisesti kuoresta ja pihkasta muodostuva pihkatappi. Kuusella pihkatappia ei useimmiten synny lainkaan tai siitä tulee matalampi kuin männyllä (kuva 3). Kuuselle, samoin kuin lehtikuuselle, on tyypillistä, että kyljestyvän oksan arpi säilyy rungossa kuoren ulkopinnalla hyvinkin kauan.

3 Aineisto ja menetelmät

Kuusen pystykarsintatutkimus aloitettiin v.1987. Tutkimusta varten perustettiin koealoja ja puuparilinjoja, joiden avulla voidaan selvittää eri puustotunnusten, karsintamenetelmien ja karsintavuodenajan vaikutusta karsintatulokseen. Ensisijaisena tavoitteena on selvittää karsinnan teknistä onnistumista ja karsinnan vaikutusta puuhun mahdollisesti syntyviin laho- ja sinistymävikoihin. Koealojen perustamisesta on



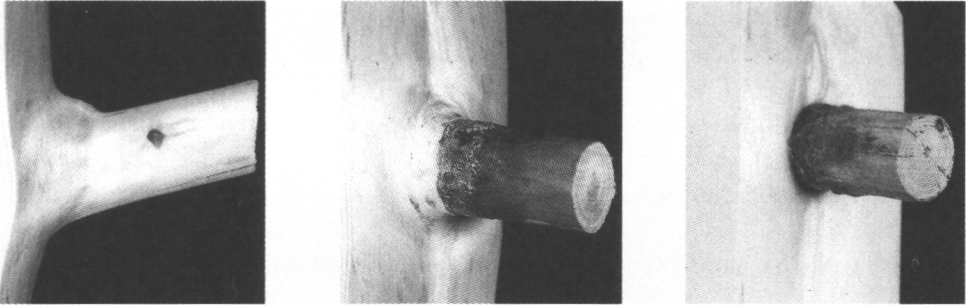
Kuva 3. Kuusen oksan kyljestyessä lustot liukuvat oksanhaavan päälle. Kuvan oksa on karsittu kuivana, oksan tyveä ympäröivä kuori näkyy selvästi. Kyljestyneen oksan arpisolukko samoin kuin mahdollinen pihkavuoto jäävät kuoreen ja säilyvät siinä pitkään (kuva P. Saranpää).

toistaiseksi kulunut liian vähän aikaa, jotta kaikkiin esitettyihin kysymyksiin voitaisiin vastata. Aineisto käsittää sekä alkuperäisen koesuunnitelman mukaisia nuoria kaatokoepuita että Hartolassa sijainneen koalueen (Hartola 3) päätehakkuun vuoksi kaadetut koepuut.

Karsittavat puut valittiin ulkonaisten ominaisuuksien mukaan niiden metsikön puiden joukosta, joiden arvioitiin muodostavan pätehakkuuseen asti kasvatettavan peruspuuston. Ne pyrittiin valitsemaan mahdollisimman tasaisesti kautta koelan. Karsittavaksi kelpuutettiin vain hyvälaatuisia, suorarunkoisia ja normaalisti oksaisia puita. Kullekin karsittavaksi valitulle puulle etsittiin sitä kooltaan vastaava verrokki, joka jätettiin karsimatta. Yhdellä koeloista (Hartola 3) rungot olivat rinnankorkeusläpimitaltaan selvästi paksumpia kuin karsintaohjeissa suositetaan (18,5–24 cm). Nuoremmissa, 25 ja 45 vuoden ikäisissä metsiköissä karsittiin myös eläviä oksia; järeällä puustoisella koelalla muutamia eläviä oksia oli vain parissa ylimmässä karsituista oksakiehkuroista.

Karsinta-ajoiksi valittiin syksy (loka-marraskuu), kevätalvi (maaliskuu) ja kesä (kesäkuu). Pieniläpimittaisimmat puustot karsittiin useassa jaksossa yhteensä n. 5 m:n korkeudelle. Viimeinen karsinta tehtiin v:n 2000 aikana. Järeät puut karsittiin kerralla 5–6 metrin korkeuteen. Karsitut oksat olivat kaikilla koeloilla läpimitaltaan alle 2 cm, vain yksittäisiä tätä paksumpia oksia löytyi.

Oksien kyljestysemkehitystä ja terveysvaikutuksia selvittävät mittaukset tehtiin 60 cm:n pituisista pöleistä sorvatusta viilumatosta. Koepöllejä otettiin tyvitukin koko pituudelta paitsi Hartolan ylijäreistä puista, joista näyte otettiin vain tyvitukin yläpäästä.



Kuva 4. Tutkimuksessa käytetyt oksan laatua kuvaavat termit: a) elävä oksa b) kuollut oksa ja c) kuiva oksa (kuva J. Lehtimäki).

Oksien laatu arvioitiin kahdeksaan luokkaan, joista luokka 1 oli täysin elävä oksa, jossa oksan ja rungon puuaine ovat täydessä kasvuyhteudessa ja oksa pysyy kuivauksen jälkeenkin puukappaleessa (kuvat 4 ja 7) ja luokka 8, jossa oksa on täysin kyljestynyt ja ilman puun syykuviossa havaittavaa oksanjälkeä.

4 Tulokset

Kuusi vuotta karsinnan jälkeen tutkittiin 14 karsittua ja 6 karsimatonta puuta (Lehtimäki 1996). Oksakiehkuroiden oksia sahattiin halki niin, että sahauslinja kulki mahdollisimman tarkkaan oksan ydintä myöten, jolloin voitiin arvioida, missä tilassa rungon sisässä oleva oksa oli. Lähes joka toisessa kuivana karsitussa oksassa todettiin lievä tai keskivahva sinistymä, elävänä karsituissa oksissa sinistymää oli joka kymmenennessä. Karsimattomissa oksissa vastaavat esiintymistiheydet olivat alhaisemmat. Lahoja oli vain muutamassa (1,4 %) karsitussa oksassa, runkopuusta luoja ei löytynyt. Karsitusta oksasta puuaineeseen levinnyt sinistymä tavattiin n. joka kuudennessa (15 %) halkaistuista näytteistä. Ylivoimaisesti suurin osa vioista (88 %), oli ”juuri silmin havaittavaa” sinistymää. Vikojen ei voitu osoittaa syntyneen nimenomaan karsinnassa, koska samanlaisia vikoja esiintyi sekä karsimattomissa oksissa että syvällä rungon sisällä olevissa oksan osissa. Vadlan (1989) eteläisessä Norjassa sijainneista pystykarsintametsiköistä tekemässä tutkimuksessa luoja tai sinistymää löytyi 12 prosentissa karsituista rungoista. Sen sijaan kaikista tutkituista oksista vain 1 prosentissa oli sieni-infektio. Vadla (1989) toteaa muiden tutkijoiden todenneen värivikojen n. neljässä prosentissa karsittuja oksia. Suuri ero Lehtimäen tuloksiin johtunee hänen käyttämästään tutkimustavasta, joka oli äärimmäisen herkkä pienellekin värvirheelle. Vadlan (1989) ja hänen siteeraamiensa tutkimusten mukaan pystykarsinnasta syntynyt laho tai värvika-alue jää kooltaan pieneksi eikä yleensä leviä puun pintaa kohti. Samansuuntaisia tuloksia saivat koivun pystykarsintaa tutkineet Verkasalo ja Rintala (1998).

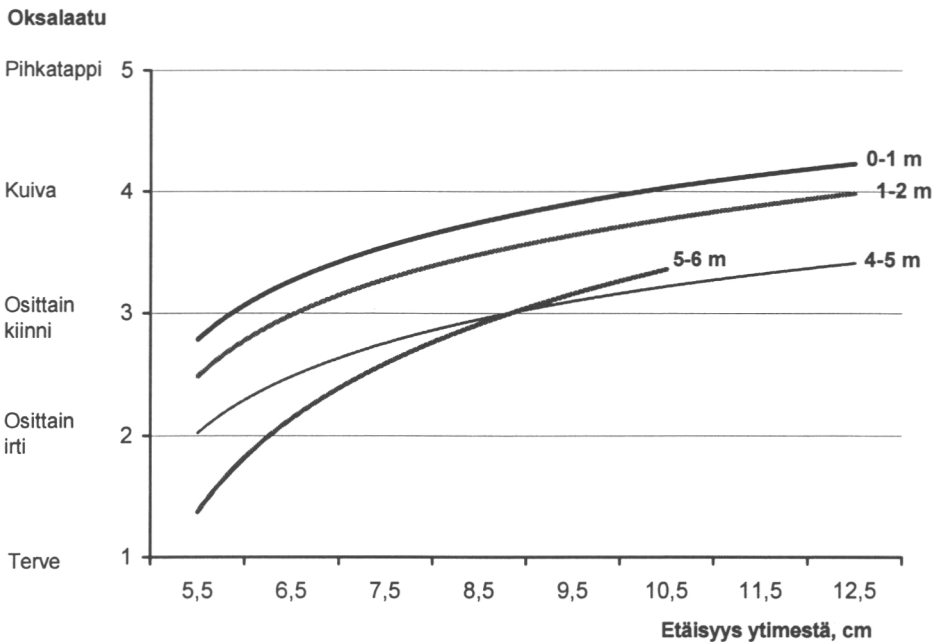
5 Nuorten kuusikoiden karsintakoe

Koesorvausten perusteella todettiin, että kuuden vuoden päästä karsinnasta kyljestyminen oli pahasti kesken, eikä täysin puhdasta oksatonta pintaa ollut vielä ehtinyt syntyä (kuva 5).

Kuivina karsittujen oksien kyljestyminenkehitys on lähes yhdenmukainen eri korkeuksilla. Ylimmässä karsitussa kiehkurassa, 5–6 m:n korkeudella maasta olleiden elävien ja vastakuolleiden oksien kyljestyminenkehitys näyttää olevan nopeampaa kuin kuivien oksien.

Kuusen oksien luontainen kuolemis- ja kyljestyminenrytmi on kuitenkin selvästi nähtävissä: mitä alemmalla rungosta koekappale on otettu, sen pidempi aika oksien kuolemista oli karsintahetkeen mennessä kulunut, ja sen vähemmän koeviilusta löytyi kokonaan ympäröivässä puuaineessa kiinni olevia oksia. Alimpien oksien kuollessa runko oli niin ohut, että eläviä oksia ei aivan tyvestä sorvatussa viilussa ole lainkaan. Jo 5,5 cm:n päässä ytimestä, siis puun läpimitan ollessa n.11 cm, oksat olivat karsintavaiheessa kuivia. Koesorvin purilaan läpimitta oli 10 cm, joten lähemmäs ydintä ei päästy. Tyvitukin yläpäässä eläviä oksia oli vielä silloin, kun rungon läpimitta 5–6 m:n korkeudella oli 11 cm. Kun rungon läpimitta oli kasvanut 20 cm:iin, oksat olivat jo täysin tai lähes täysin irrallaan rungon puuaineesta eli ne olivat kuivia.

Kuvasta 5 voidaan päätellä, että elävien oksien kyljestyminen tapahtuu nopeammin kuin kuolleiden oksien kyljestyminen. Vadla (1989) totesi saman eron sekä omasta aineistostaan että siteeraamiensa tutkijoiden töistä. Elävän oksan nopeamman kyljes-



Kuva 5. Oksien kyljestyminenaste kuusi vuotta karsinnan jälkeen sorvatussa viilussa.

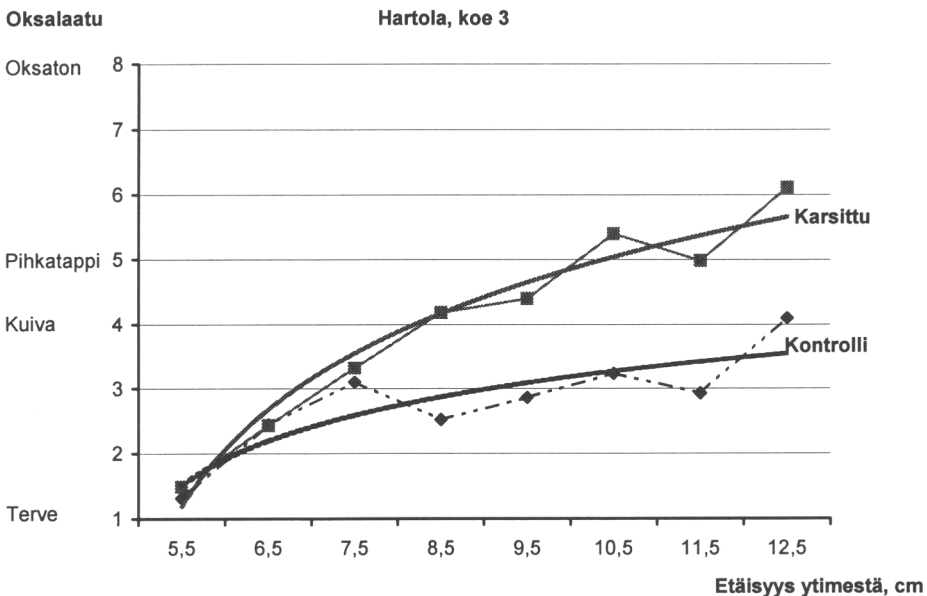
tymisen Vadla olettaa johtuvan siitä, että paitsi rungon myös oksan jälsi tuottaa karsintahaavan peittävää puuainetta.

Viiluissa ei todettu merkittäviä laho- tai värivikoja. Vikojen vähäisyyttä osattiin odottaa Sairasen pilottiselvityksen perusteella. Aineisto koostui vanhoista, etupäässä piha- ja hakamailla kasvaneista puista, joista oli karsittu hyvin paksujakin oksia. Vain harvoissa koeviiluissa tavattiin väri- tai lahovikaa karsitussa oksassa tai oksan ympäristössä. Lehtimäen (1996) saamat tulokset oksien runsaista värivioista tuntuvat tähän verrattuna hieman ristiriitaisilta.

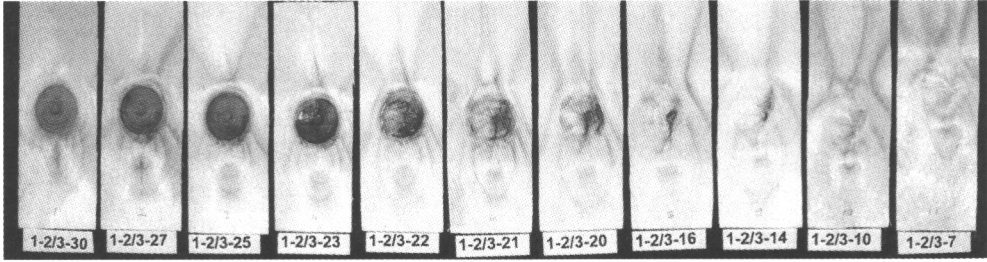
6 Järeän kuusikon karsintakoe

Järeäpuustoisen metsikön karsintakoe jouduttiin lopettamaan 13 vuotta perustamisen jälkeen, kun metsikössä tehtiin päätehakkuu. Karsinnasta päätehakkuuseen kulunut aika oli edelleen lyhyehkö tutkimuksen tavoitteita ajatellen, mutta kuitenkin riittävän pitkä osoittamaan, että karsinta ei ollut aiheuttanut merkittäviä laho- tai värivikoja.

Pystykarsitun ja karsimattoman puun kyljestymisaste erosi toisistaan karsitun eduksi. Karsimattomissa verrokeissa löytyi yhteensä vain muutamia kyljestyneeksi katsottavia oksia yhdeksän koerungon erästä (kuva 6).



Kuva 6. Karsintasuosituksia järeämpänäkin (rinnankorkeusläpimitta 18 + cm) karsitussa metsikössä karsinta paransi viilusta arvioitua oksaisuuslaatua. Näin myöhäinen pystykarsinta ei ole taloudellisesti perusteltavissa, vaan on tehty pelkästään tutkimuksen tarpeisiin.



Kuva 7. Kuusen oksan kyljestymisvaiheita viilumatossa. Oikealla on pölkyn pinnasta sorvattua parasta oksaisuuslaatua. Äärimmäisenä vasemmalla lähellä ydintä oleva elävä oksa (kuva P. Saranpää).

Järeään kuusikkoon tehty karsintakoeala osoitti, miten oleellinen asia karsittavien puiden rinnankorkeusläpimitta on. Jotta pystykarsinnasta saataisiin taloudellisesti kannattava tulos, on pyrittävä metsikön mahdollisimman varhaiseen karsintaan. Mitä pieniläpimittäisempi on tukin sisään jäävä oksainen sylinteri, sitä suurempi osuus tukin tilavuudesta on tavoiteltua oksatonta laatupuuta.

Vaikka metsikön kasvu (sekä karsitut että karsimattomat rungot) taantui selvästi kokeen loppupuolella, oli karsittuun runkoon muodostunut oksatonta pintaa eli osa oksista oli kokonaan kyljestynyt. Oksan paikka oli kuitenkin nähtävissä epäsäännöllisenä syyrakenteena (kuva 7).

Karsituista oksista puuaineiseen levinyttä tai muutakaan lahoa tai sinistymää ei Hartolan koelan puista sorvatusta viilusta löytynyt.

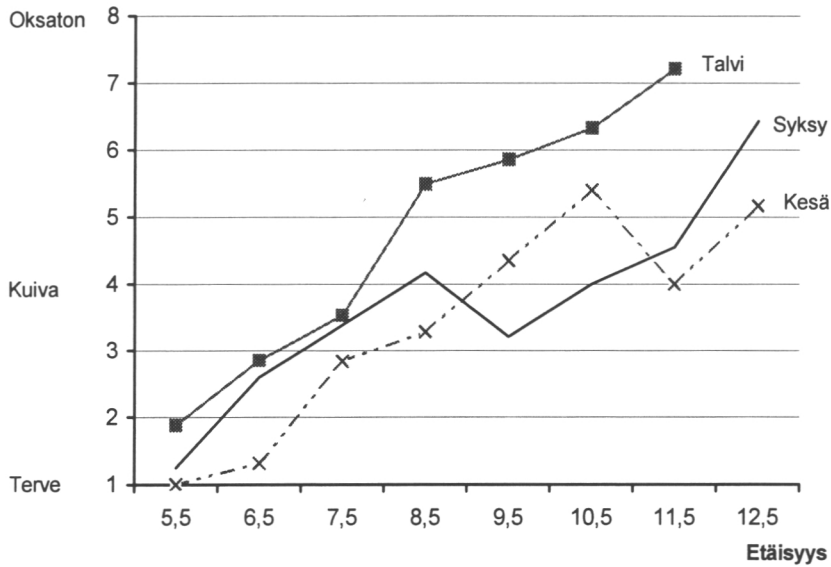
7 Karsinnan ajankohta

Karsinta-ajankohdan vaikutusta karsinnan onnistumiseen selvitettiin Hartolan järeärunkoisen aineiston perusteella. Koesorvauksen mukaan kevättalvella tehty pystykarsinta antoi parhaan kyljestymistuloksen (kuva 8). Puun puolustautumismekanismit ovat jo käynnissä ja paksuuskasvun alkaessa karsintahaava alkaa välittömästi kyljestyä. Myös Vadla (1989) totesi omassa tutkimuksessaan myöhäistalven parhaaksi ajaksi kuusen pystykarsinnassa. Hän siteeraa useita pohjoismaisia tutkijoita, jotka ovat päätyneet vastaavaan tulokseen.

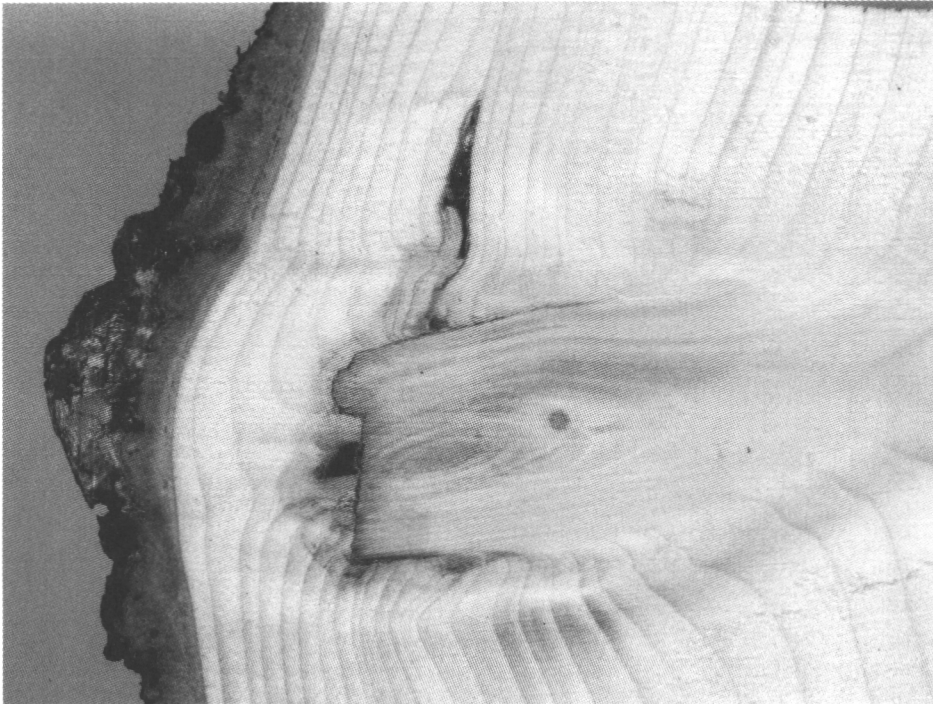
Joistakin pölleistä löydettiin karsinnassa sattuneita virheitä (kuva 9). Erityisesti kuoren rikkoutuminen tai kuorisuikaleiden esiintyminen ovat käytännön tasolla tunnistettuja karsintatyön laatuongelmia. Tämä onkin johtanut siihen, että keväistä mahla-aikaa – “äitienpäivästä koulujen päättymiseen” ei pidetä pystykarsintaan sopivana. Oksaan ei saa jäädä tynkää, mutta toisaalta oksakynnästä ei saa leikata pois. Runkoon ei saa tulla haavoja. Yleisesti voi todeta, että karsinta on paras jättää tekemättä ellei huolellista ja kurinalaista työskentelyä voida taata.

Karsittavia puita valittaessa on rungon ja oksien laatuun kiinnitettävä tarpeeksi huomiota, ettei karsita liian paksuoksaisia, mutkaisia tai latvanvaihtopuita (kuva 10).

Oksalaatu



Kuva 8. Aikaisin keväällä (merkitty talvi) tehty karsinta näyttää antaneen suotuisimman kyljestymistuloksen. Myös karsintatyö tuntui onnistuvan pienessä kevätpakkasessa paremmin kuin muina vuodenaikoina, arvioivat karsinnan tekijät.



Kuva 9. Karsinnassa oksaleikkoon jäänyt repeämä (kuva P. Saranpää).



Kuva 10. Karsittavissa puissa ei saa olla runkovikoja, kuten mutkia tai latvanvaihtoja (kuva P.Saranpää).

Karsinta on niin kallis laadunparannusmenetelmä, että jokaisen karsittavaksi valitun rungon on oltava jo peruslaadultaan hyvä. Hyvästä puusta tuotetaan sitten erikoispuuta.

8 Kuusesta voi pystykarsia sekä kuolleita että eläviä oksia

Käsillä oleva tutkimus, samoin kuin useat muut Euroopassa tehdyt tutkimukset osoittaa, että oikein tehtynä pystykarsinta on myös kuuselle sopiva laatukasvatuksen keino. Kuusta pystykarsimalla voidaan tuottaa oksatonta tyvitukkaa, jota toisin kuin männyllä, syntyy luontaisesti erittäin pieni määrä.

Metsäkeskus Tapion metsänhoito-ohjeissa sallitaan kuusen kuivien oksien karsinta, mutta elävien oksien karsintaa ei hyväksytä, vaan elävien oksien karsinta tehdään toistaiseksi omalla vastuulla. Tutkimuksista kiellolle ei löydy perusteita, sillä elävät oksat kyljestyvät nopeammin ja niihin näyttää tulevan vähemmän sinistymä- tai lahovaurioita kuin kuolleina karsittuihin oksiin. Mikäli väri- tai lahovaurioita syntyy, ne rajoittuvat yleensä oksaiseen sisussynteriin eivätkä leviä oksattomaan pintaan päin.

Kuusen pystykarsintaan soveltuvat samat työohjeet kuin männyn karsintaan. Sopivin karsinta-aika on varhaiskevällä, maaliskuusta huhtikuussa. Jos työ tehdään pienellä pakkasella, oksien ollessa jäisiä, työn jälki on parhaimmillaan. Kuusta voidaan karsia myös kesäkarsinta, jos ajatellaan vain terveysriskejä. Kesä saattaa kuitenkin olla

työn laadun ja sujuvuuden kannalta huonompi kuin kevättalvi. Karsinta vaatii suurta tarkkaavaisuutta ja huolellisuutta. Oksa sahataan pinnan myötäisesti, mutta oksakynnästä, jos sellainen on, ei saa vaurioittaa, koska leikkausarven pinta-ala kasvaa ja mikrobi-infektioiden vaara kasvaa. Mikäli työn korkeata laatutasoa ei voida taata, on parempi jättää pystykarsinta tekemättä. Myöhäissyksyllä tai alkutalvesta sienitartuntojen riski on pahimmillaan, joten silloin ei saa pystykarsintaa tehdä.

Kuusen pystykarsinnasta saadaan paras tulos, kun

- karsittavat puut ovat nuoria, terveitä ja hyväkasvuisia
- karsittavat oksat ovat eläviä tai vastakuolleita
- oksat karsitaan huolellisesti, puuta vahingoittamatta
- karsinta tehdään kevättalvella.

Kirjallisuus

Lakari, O. J. 1920. Tutkimuksia kuusen karsinnasta. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 2:1-38.

Lehtimäki, J. 1996. Kuusen pystykarsinta. Tutkielma. Julkaisematon. 26 s.

Vadla, K. 1989. Stammekvisting av gran (*Picea abies* (L.) Karst.). Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning 43(3). 42 s.

Verkasalo, E. & Rintala, P. 1998. Rauduskoivun pystykarsintavikojen riippuvuus oksien paksuudesta, laadusta ja karsinnan vuodenajasta. Metsätieteen Aikakauskirja 2:151-178.

Ylinen, A. 1971. Kuusen oksapuun ominaisuuksista. Puuteknologian harjoitustyö. 58 s.

Ensiharvennuskruusen raaka- aineominaisuudet

Pekka Saranpää

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

I Ensiharvennukset ja nuorpuu

Ensiharvennuksessa poistettava puusto on yleensä iältään 25–45 vuotta. Ensiharvennuspuu poikkeaa ominaisuuksiltaan myöhemmin harvennettavasta puusta. Syynä tähän on ydintä ympäröivän nuorpuun eli ydinpuun suuri osuus nuoressa ja pieniläpimittaisessa rungossa. Monet puuaineen ominaisuudet, kuten tiheys ja kuitujen koko muuttuvat nopeasti siirryttäessä puun ytimestä ulospäin.

Ydinpuuta pidetään yleensä ominaisuuksiltaan heikompana kuin rungon uloimpien osien puuainetta. Tämä vaikuttaa myös ensiharvennuspuusta valmistettavan massan ja paperin laatuun. Ensiharvennuspuulla on siksi raaka-aineena huono maine. Toisaalta ensiharvennuspuun erityisominaisuuksia, kuten ohutseinäisiä ja lyhyitä kuituja, tulisi käyttää hyväksi erikoistuotteissa. Ensisijaisena ongelmana pitäisikin nähdä ensiharvennuspuun epätasainen sekoittuminen muun raaka-aineen joukkoon, jolloin se aiheuttaa laadun vaihtelua.

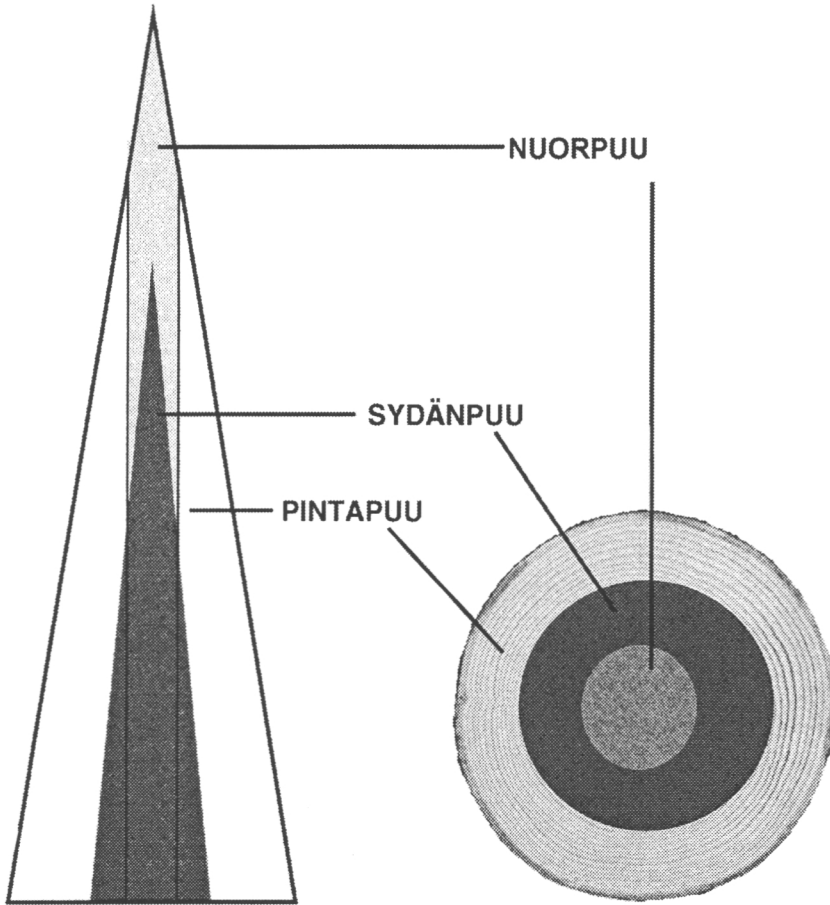
Nuorpuulle osuvampi nimitys olisi ydinpuu, sillä sitä muodostuu ytimen ympärille niin nuoren rungon tyvellä kuin vanhan puun latvassakin. Ydinpuu muodostaa näin yhtenäisen lieriön rungon sisälle ja sen osuus kasvaa latvaa kohden (kuva 1). Järeän rungon latvakuitupuun sisältää näin ollen myös runsaasti ydinpuuta. Ydinpuuta ei pidä sotkea myöhemmin muodostuvaan sydänpuuhun (kuva 1). Sydänpuun muodostuminen lisää puuaineen tiheyttä, vähentää puun sisältämää kosteutta ja heikentää läpäisevyyttä. Ydinpuun ominaisuudet eivät kuitenkaan ratkaisevasti muutu.

2 Tiheyden vaihtelu

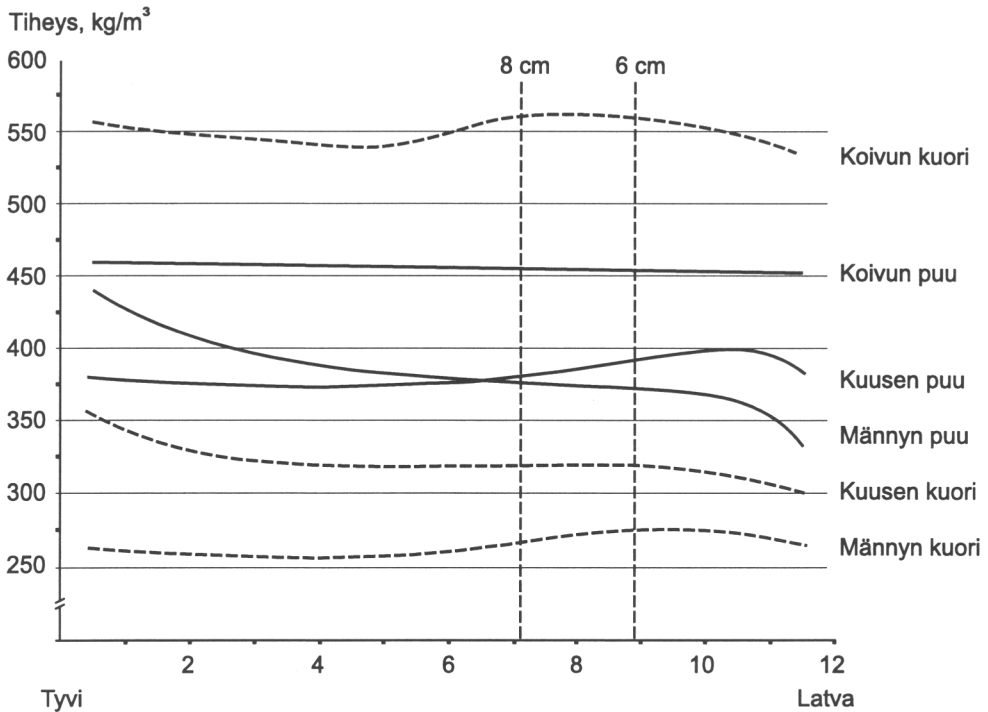
Puuaineen kuiva-tuoretiheys eli puun kuivamassa tuoretilavuutta kohden on yleensä alhainen ytimen ympärillä mutta kasvaa uloimmissa lustoissa eli pintaa kohden. Tämä johtuu tiheämmän ja raskaamman kesäpuuosuuden suurenemisesta vanhemmissa lustoissa. Tiheys kasvaa näin ollen monilla havupuulajeilla iän myötä, ts. rungon kasvaessa läpimittaa.

Kuusen tiheys vaihtelee ytimen lähellä niin, että tiheys ensin kasvaa, sitten laskee ja jälleen hieman kohoaa ytimestä pois päin siirryttäessä. Kuusen latvaosan tiheys voi olla näin ollen hieman tyviosaa korkeampi (kuva 2). Ensiharvennuskruusen keskimääräinen tiheys (355 kg m^{-3}) jää kuitenkin alhaisemmaksi kuin männyn (382 kg m^{-3}),

Hakkila, julkaisematon). Männyn tiheys kasvaa ytimestä pintaan kohden lähes 100 kgm^{-3} eli rungon tyviosan tiheys on suurempi kuin latvaosan. Koivun tiheys ei juuri iän myötä muutu, joten tyvi- ja latvaosan tiheys ovat samaa luokkaa. Kuusen ydinpuun tiheys on kuitenkin korkeampi kuin männy (kuva 2). Tutkimus perustuu Etelä-Suomesta kerättyihin 16 mänty-, 15 kuusi- ja 15 koivuensiharvennusleimikkoon. Kustakin leimikosta kaadettiin 10 tyypillistä alaharvennusperiaatteella poistettavaa koepuuta ja viisi ajourilta poistettavaa puuta (Hakkila, julkaisematon).



Kuva 1. Nuorpuun eli ydinpuun sijainti rungossa. Ydinpuuta on kuusen ytimen ympärillä hieman alle 10 vuosiluston verran. Ydinpuu muodostaa lähes yhtenäisen sylinterin rungon keskelle ja näin rungon latvaosa on lähes kokonaan ydinpuuta. Rungon ikääntyessä ja läpimitan kasvaessa, alkaa ytimen ympärille muodostua sydänpuuta. Ydinpuu ja vähitellen myös sitä ympäröivä puuaine muuttuu näin sydänpuuksi, jolle on tyypillistä alhainen kosteussuhde ja korkea uuteainepitoisuus. Uloimpana on pintapuu. Monet puuaineen ominaisuudet, kuten kuiva-tuoretiheys sekä kuidun pituus ja läpimitta muuttuvat voimakkaasti ytimestä pintaan päin. Muutos ei ole kuitenkaan jyrkkä, joten tarkkaa rajaa ydinpuulle on vaikea määrittellä. Ominaisuudet saattavat myös olla hieman erilaiset rungon tyvi- ja latvaosan välillä.



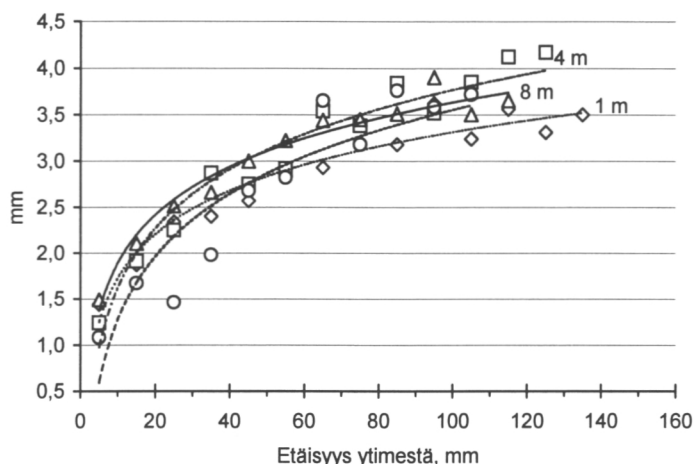
Kuva 2. Kuusen, männyn ja koivun puun ja kuoren kuiva-tuoretiheyden (kuivamassa tuoretilavuutta kohden) vaihtelu eri korkeudella 12 m rungoissa. Kuvaan on merkitty 8 ja 6 cm läpimitan rajat. Latvaosan tiheys kuvaa ydinpuun tiheyttä. Männyn tiheys pienenee tyveltä lähtien eli puun läpimitan pienentyessä. Kuusen tiheys on vaihtelevampi. Kuusen puuaineen kuiva-tuoretiheys ensin hieman laskee, sitten nousee kunnes laskee jälleen aivan latvassa.

3 Kuidun pituus

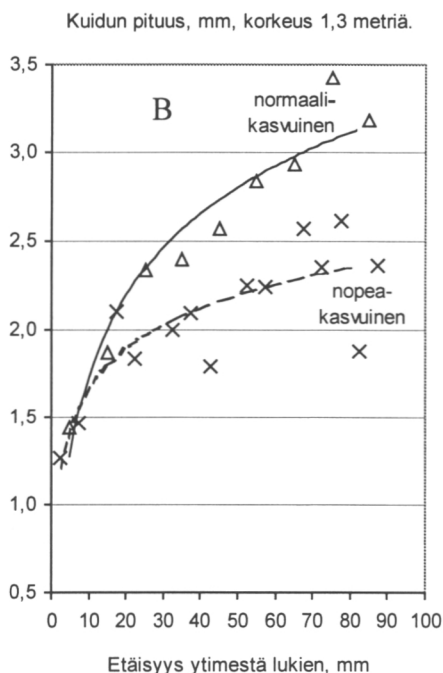
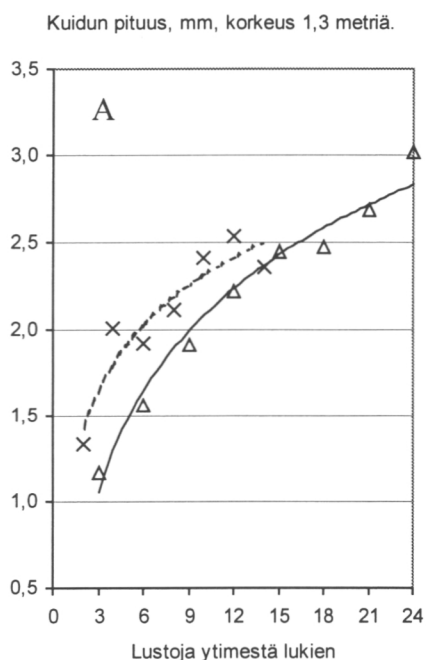
Paperin ominaisuudet riippuvat kuitujen dimensioista, joista tärkeimpiä on kuidun pituus. Kuusen kuidun pituus kasvaa voimakkaasti siirryttäessä puun ytimestä ulospäin (Saranpää 1999, Sirviö 2000). Pisimmät kuidut ovat rungon ulko-osissa (kuva 3). Ytimen ympärillä kuidut ovat vain noin yhden millimetrin pituisia. Ensiharvennuspuiden kuidut ovat siis lyhyempiä kuin järeämmässä puutavarassa.

Kuusen ensimmäisissä lustoissa solujen pituus on vain n. 0,5–1 mm, mutta kuidut pitenevät nopeasti siirryttäessä ytimestä ulospäin. Ne saavuttavat 2 mm pituuden jo 6.–7. lustossa ytimestä lukien (kuva 4). Männyllä muutos on samansuuntainen, mutta kuidut saattavat keskimäärin jäädä hieman lyhyemmiksi kuin kuusella, etenkin rungon uloimmissa osissa.

Kasvunopeudella näyttää olevan selvä vaikutus kuidun pituuteen. Kun tarkastellaan saman läpimitan omaavia runkoja, nopeakasvuisen puun kuidut jäävät merkittävästi lyhyemmiksi (kuva 4). Kun kasvatusasento pidetään tiheänä ensiharvennukseen saakka, puun kuiduista muodostuu pidempiä.



Kuva 3. Kuusen kuitujen piteneminen siirryttäessä puun ytimestä pintaan päin. Pisimmät kuidut olivat rungon keskivaiheilla (4 ja 8 m). Mitattu kahdesta kuusitukkipuusta.



Kuva 4. Normaalikasvuinen (keskimääräinen lustonleveys 2 mm, Δ —) ja erittäin nopeakasvuinen kuusen (keskimääräinen lustonleveys 7 mm, x - - -) kuidun pituus ilmoitettuna vuosilustojen lukumääränä ytimestä (A) sekä etäisyytenä ytimestä (B). Normaleissa kasvuoloissa kuidut saavuttavat 2 mm pituuden vajaan 10 luston eli alle 20 mm päässä ytimestä. Nopeakasvuisissa kuusissa kuidut sen sijaan jäävät huomattavasti lyhyemmiksi, kun tarkastellaan saman läpimitan omaavaa runkoa, eli 2 mm pituus saavutetaan vasta n. 30 mm päässä ytimestä. Kuidut myös pitenevät hitaammin rungon ulko-osissa. Tutkimuksen kohteena oli yhteensä 12 normaalikasvuista ja kolme hyvin nopeakasvuista runkoa.

Taulukko 1. Ensiharvennuskuusen trakeidin (ehjien kuitujen) pituuden vaihtelu eri korkeudella rungossa. Näytepala on jaettu ytimen sisältävään osaan (0–3 cm ytimestä) sekä sen ulkopuoliseen osaan. Kuidun pituus on laskettu myös koko kiekon osalle sekä koko rungon osalle. Tutkimuksen kohteena oli yhteensä 10 runkoa mustikkatyyppin kasvupaikalta. Läpimitta rinnankorkeudella oli 11 cm ja ikä 32 vuotta.

Korkeus tyveltä, m	Kuidun pituus, mm			
	Etäisyys ytimestä		Koko kiekko	
	Alle 30 mm	Yli 30 mm	Keskimäärin	Hajonta runkojen välillä
9,5	1,84		1,84	0,29
7,5	2,28	2,62	2,07	0,34
5,5	1,96	2,54	2,08	0,19
3,5	2,05	2,66	2,31	0,11
1,5	2,11	2,72	2,41	0,14
Koko runko	2,10	2,66	2,26	0,17

Keskimäärin ensiharvennuskuusen kuidunpituus on n. 2,3 mm (taulukko 1). Ydinpuussa eli 6 cm:n läpimittaisessa rungossa kuidut olivat n. 0,7 mm lyhyempiä kuin ydinpuun ulkopuolelle jäävässä rungonosassa. Kuusen sahakkeessa, joka on pääasiassa peräisin tukkien pintaosista, kuidun pituus vaihtelee välillä 3,1–4,0 mm tukkiluokasta riippuen (Saranpää, julkaisematon). Ensiharvennuspuun kuidut jäävät siis merkittävästi lyhyemmiksi kuin järeämmän puutavaran. Kuidun pituus vaihtelee myös rungon sisällä melko paljon (kuva 5). Pituusjakauma on melko samankaltainen ydinpuussa ja sen ulkopuolella.

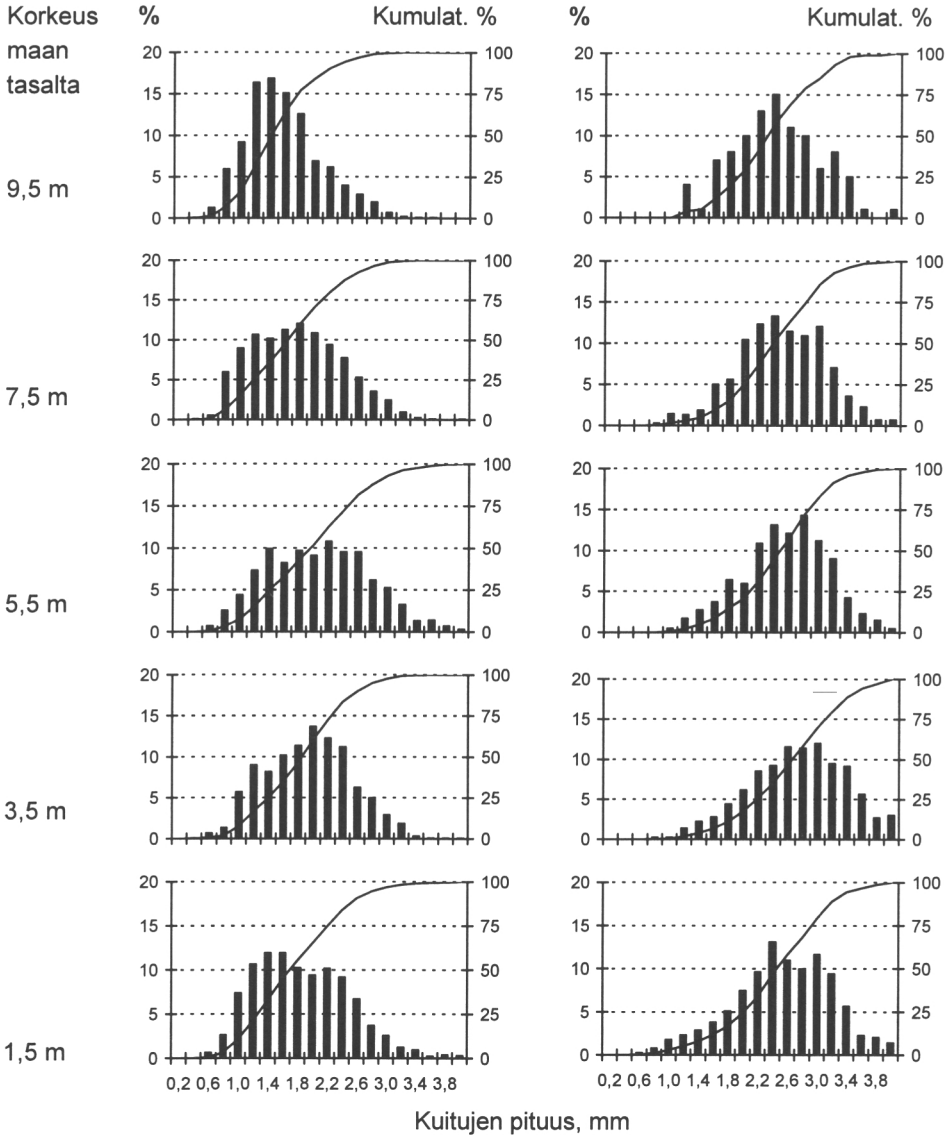
4 Kuidun läpimitta

Samoin kuin kuidun pituus, myös sen läpimitta kasvaa voimakkaasti siirryttäessä ytimestä kuoreen päin. Kuusen ytimen lähellä kevätpuukuitujen läpimitta on alle 25 μm , mutta jo 10–15 luston eli 40–50 mm päässä ytimestä sen läpimitta on kasvanut lähes 35 μm :iin (kuvat 6 ja 7). Solujen läpimitta kasvaa siis lähes puolella. Samoin kuituseinämän paksuus kasvaa siirryttäessä ytimestä ulospäin. Ytimen lähellä kevätpuun kuituseinän paksuus on n. 2,2 mikrometriä ja kasvaa kolmeen mikrometriin uloimmissa lustoissa. Kesäpuussa kuituseinämän paksuus on lähes kaksikertainen. Ydinpuulle on tyypillistä kesäpuun alhainen osuus ja näin ollen myös paksuseinäisten kesäpuukuitujen niukkuus.

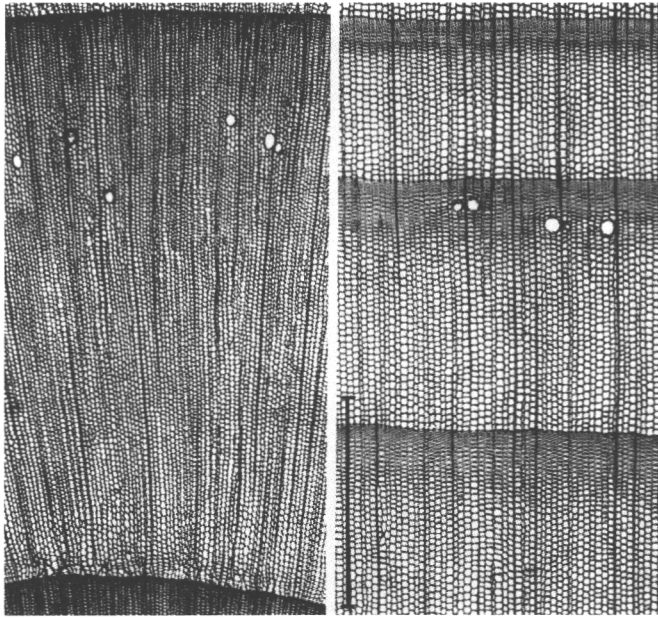
Etäisyys ytimestä

0 - 3 cm

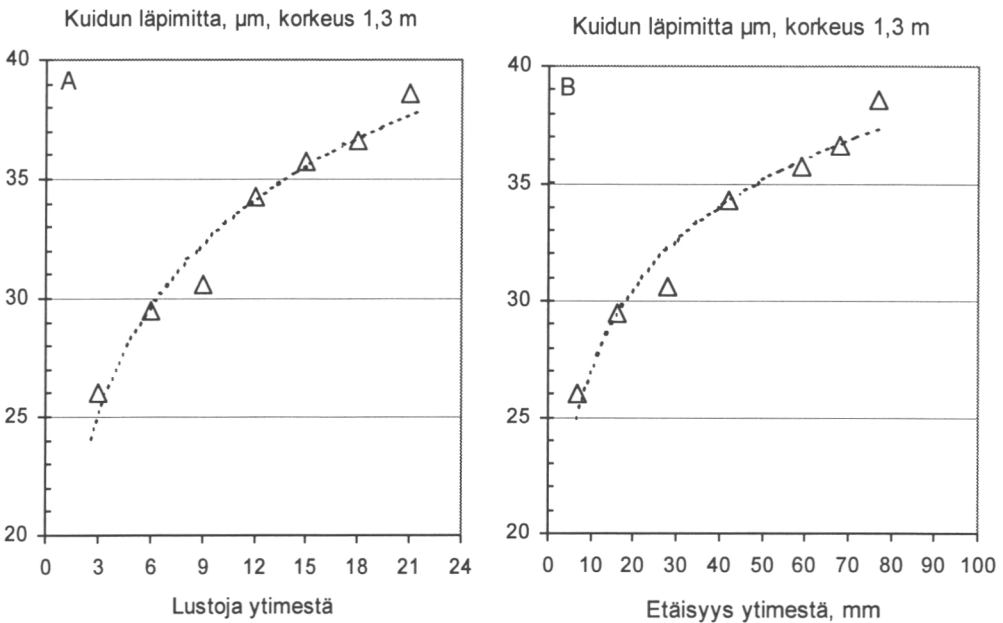
3 - 6 cm



Kuva 5. Kuusen kuidun pituuden vaihtelu eri korkeudella rungossa sekä ytimen ympärillä olevassa ydinpuussa (0–3 cm) että sen ulkopuolisessa rungonosassa (3–6 cm). Pituudet on jaettu 0,2 mm luokkiin. Pituusjakauma on melko samankaltainen ydinpuussa ja sen ulkopuolella eri korkeuksilla. Kuidut ovat kuitenkin selvästi pidempiä ydinpuun ulkopuolella. Tutkimuksen kohteena oli yhteensä 10 runkoa yhdestä metsiköstä. Läpimitta rinnankorkeudella oli keskimäärin 11 cm ja ikä 32 vuotta.



Kuva 6. Esimerkki kuusen vuosiluston rakenteesta ydinpuussa (kolmas vuosilusto, vasemmal- la) sekä uloimmassa pintapuussa (40. lusto). Mittajanan pituus 1 mm. Kuidun läpimitta kasvaa lähes kaksinkertaiseksi siirryttäessä ytimestä pintaan.



Kuva 7. Kuusen kuidun läpimitta ilmoitettuna vuosilustojen lukumääränä ytimestä (A) sekä etäisyytenä ytimestä (B). Keskimääräinen lustonleveys 2 mm. Kuidun läpimitta kasvaa voimakkaasti siirryttäessä ytimestä ulospäin. Tutkimuksen kohteena oli yhteensä 12 runkoa yhdestä metsiköstä.

5 Kuituseinän rakenne

Puuaineen tiheys ja kuitujen ominaisuudet muuttuvat nopeasti siirryttäessä puun ytimestä pintaan päin, mutta mitään selvää rajaa ei ole. Ydinpuun osuutta rungossa on näin ollen vaikea määrittää. Selvin ero puun ytimen ja pinnan välillä on ehkä kuituseinämän mikrofibrillikulmassa. Kulmalla tarkoitetaan selluloosasäikeiden suuntaa solun pituusakseliin nähden (kuva 8). Soluseinä koostuu useista kerroksista, joista merkittävin on nk. sekundaariseinän keskikerros eli S2-kerros. Tämä on paksuin soluseinäkerroksista ja määrää näin yksittäisen kuidun ominaisuudet. Jyrkkä kulma heikentää kuidun lujuutta ja lisää mm. puun pituussuuntaista kutistumaa (kuva 9) ja aiheuttaa sahatavaran muodonmuutoksia kuivauksessa.

Ytimen lähellä kulma on jyrkkä mutta laskee muutamaan asteeseen lustoissa 6–7 ytimestä lukien (kuva 9). Tähän perustuen kuusen ydinpuun määränä Etelä-Suomessa voitaisiin pitää hieman alle kymmentä lustoa ytimestä lukien ja n. 6–7 cm läpimittaa.

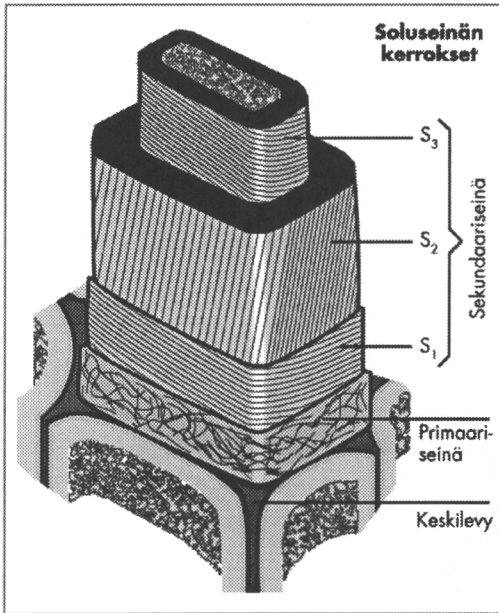
6 Uuteaineet

Uuteaineilla tarkoitetaan orgaaniseen liuottimeen, kuten asetoniin liukenevia yhdisteitä. Havupuilla nämä ovat yleensä rasvoja, fenoleita ja pihkan aineosia, kuten hartsihappoja. Uuteaineet aiheuttavat yleensä ongelmia massan valmistuksessa ja valkaisun yhteydessä, joten alhainen uuteaine- ja sydänpuupitoisuus on massan raaka-aineelle eduksi. Nuoren kuusipuun uuteainepitoisuus on hyvin alhainen, keskimäärin vain n. 1,3 % eli 13 kg/m³. Uuteainepitoisuus ei juuri vaihtelee tyveltä latvaan (taulukko 2). Männyn asetoniuuteainepitoisuus on lähes kolminkertainen, keskimäärin 3,3 % kuivamassasta (Hakkila ym. 1995).

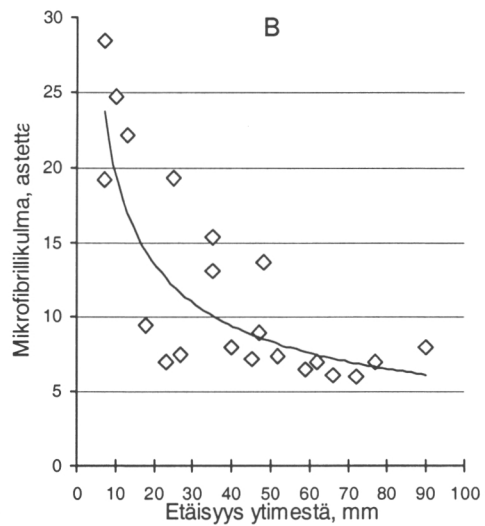
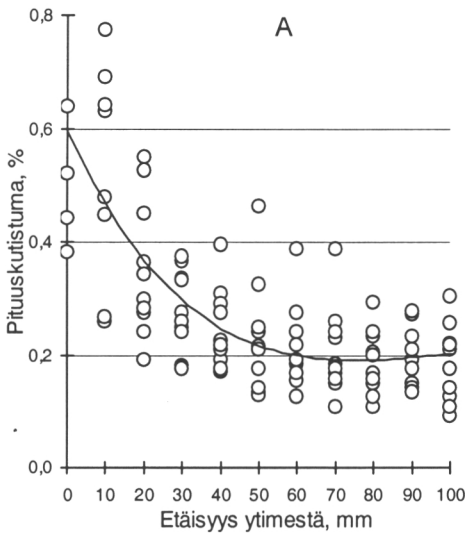
Uuteaineiden määrä kasvaa sydänpuun muodostuessa. Kuusen sydänpuun uuteainepitoisuus jää kuitenkin huomattavasti alemmaksi kuin männyn. Niinpä kuusi sopii myös mekaanisen massan raaka-aineeksi. Sydänpuuta alkaa muodostua ytimen ympärille puun saavuttaessa riittävän läpimitan (kuva 1). Ensiharvennuspuussa ja rungon latvaosassa sydänpuuta ei juuri ole. Sydänpuuosuus on näin ollen suurin järeiden runkojen tyvellä ja pienenee latvaa kohden (kuva 1). Sydänpuun muodostuessa myös puun kosteussuhde laskee. Pintapuun ja ensiharvennuspuun kosteussuhde vaihtelee välillä 150–180 % ja sydänpuun vastaavasti 30–40 %.

7 Yhteenveto

Kuusen ensiharvennuspuu poikkeaa ominaisuuksiltaan vanhemmista leimikoista korjattavasta järeämmästä puutavarasta. Ensiharvennuspuulle on tyypillistä ytimen ympärillä olevan ydinpuun suuri osuus. Ydin- eli nuorpuulla tarkoitetaan yleensä n. 5–20 ensimmäistä vuosilustoa. Puuaineen tiheys ja kuitujen ominaisuudet muuttuvat nopeasti siirryttäessä puun ytimestä pintaan päin, mutta mitään selvää rajaa ei ole. Ydin-



Kuva 8. Kuituseinämän eri kerrokset. Uloimpana, kahden solun välissä on keskilevy, joka sisältää runsaasti ligniiniä. Sen sisäpuolella on primaariseinä, jossa selluloosasäikeet ovat epäjärjestyksessä. Sisin kerros eli sekundaariseinä koostuu kolmesta eri osasta, joista keskimäinen eli S2-kerros on paksuin. Selluloosasäikeet ovat eri kerroksissa suuntautuneet eri tavoin. Tärkein kerros on S2-kerros, jossa selluloosasäikeet eli mikrofibrillit ovat suuntautuneet lähes solun pituusakselin suuntaisesti (piirros Tommi Salonen/ Metla).



Kuva 9. Puuaineen pituuden suuntaisen kutistuman muutos siirryttäessä ytimestä pintaan päin (A) sekä mikrofibrillikulman muutos (B) ytimestä pintaan päin. (Saranpää ym. 1998). Selluloosasäikeiden suuntaus muuttuu lähes kuidun pituusakselin suuntaiseksi siirryttäessä ytimestä 30–40 mm ulospäin (B). Pituuden suuntainen kutistuma pienenee samanaikaisesti n. 0,2 prosenttiin. Voimakas pituuden suuntainen kutistuma ytimen ympärillä aiheuttaa muodonmuutoksia sahatavaran kuivauksen aikana.

Taulukko 2. Ensiharvennuskuusen asetoniliukoisten uuteaineiden määrä eri korkeudella rungossa. Mitattu yhteensä 30 rungosta kolmelta eri leimikolta. Läpimitta rinnankorkeudella oli 11 cm ja ikä 32 vuotta.

Korkeus tyveltä, m	Asetoniliukoisten uuteaineiden määrä, % kuivapainosta	
	keskiarvo	hajonta
7,5	1,32	0,43
5,5	1,26	0,18
3,5	1,33	0,24
1,5	1,34	0,22

puun osuutta rungossa on näin ollen vaikea määrittää. Selvin ero puun ytimen ja pinnan välillä on ehkä kuituseinämän mikrofibrillikulmassa. Tämän perusteella kuusen ydinpuun osuus on hieman alle 10 lustoaa, joka vastaa noin 6–7 cm läpimittaa.

Ensiharvennuspuun alhainen tiheys, korkea kosteussuhde ja suuri kuoriprosentti heikentävät raaka-aineen arvoa ja saattavat pienentää mm. sellun saantoa. Lyhyet ja ohutseinäiset kuidun vaikuttavat myös massan laatuun ja ominaisuuksiin. Massan repäisyjuuus ja kuidun lujuus ovat heikkoja, mutta arkista tulee tiheä ja tiivis ja optiset ominaisuudet ovat hyvät. Eroa varttuneemmasta metsiköstä saatavaan kuitupuuhun tasoittaa käytännössä kuitenkin jonkin verran se, että järeitten runkojen tyvi-osat tehdään sahatukiksi. Pitkäkuituisin ja tihein raaka-aine palaa kuitenkin massateollisuuden käyttöön sahakkeen muodossa. Kuusen ensiharvennuspuun uuteainepitoisuus on alhainen eikä sydänpuuta ole vielä juurikaan muodostunut.

Kirjallisuus

- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582, 100 s.
- Saranpää, P. 1999. Kuituteollisuuden raaka-aine. Julkaisussa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 52-59.
- Saranpää, P., Serimaa, R., Andersson, S., Pesonen, E., Suni, T. & Paakkari, T. 1998. Variation of microfibril angle of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) - comparing x-ray diffraction and optical methods. In: Butterfield, B. (ed.). International Workshop on The Significance of Microfibril Angle to Wood Quality, November 21-25, 1997, Westport, New Zealand. Proceedings. University of Canterbury Printers, p. 240-252.
- Sirviö, J. 2000. Variation in tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 25: 39 + 5 liitettä.

Ojitettujen korpien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot

Erkki Verkasalo¹ ja Matti Maltamo²

¹Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

²Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta

I Taustaa

Suometsien kuusen laatu ja käyttömahdollisuuksia on alettu tutkia laajasti vasta 1990-luvun puolivälistä lähtien. Asia ei ole ollut aiemmin vielä erityisen ajankohtainen, koska laatu- ja käyttökohtien kannalta ensisijaista järeää kuusta on ollut vain vähän hakattavissa ojitusalueilta. Suopuun merkitys potentiaalisena raaka-ainelähteenä tulee kuitenkin kasvamaan koko ajan seuraavan 20 vuoden aikana. MELA-hakkuulaskelmien mukaan suopuun osuus kaikista metsä- ja kitumaan hakkuumahdollisuuksista kasvaa koko maassa perusoletuksista riippuen vuosijakson 1996–2005 14–16 prosentista jakson 2016–2025 17–26 prosenttiin (Nuutinen ym. 2000). Hakkuumahdollisuuksien kasvu kohdistuu turvemaiden alueilla ennen kaikkea mäntyyn ja harvennuspuihin.

Kuusella hakkuumahdollisuuksien kehittyminen turvemaiden alueilla riippuu ratkaisevasti ennustelaskelman perusoletuksena käytettävästä hakkuustrategiasta (taulukko 1, Nuutinen ym. 2000). Hakkuumahdossa esitetään hakattavaksi kaikki sovellettujen metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa olevat kohteet, jotka eivät täytä edelleen kasvattamisen ehdoksi asetettua tuottovaatimusta (korkokanta 5 %). Tässä ei siis aseteta vaatimuksia toiminnan kestävyydelle tai laskentakauden loppupuustolle. Suurimmassa kestävässä hakkuusuunnitteessa otetaan huomioon puuntuotannon kestävyys laskentakauden kuluessa siten, että hakkuukertymät ja nettotulot ovat aina vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla ja puuston tuottoarvo on laskentakauden lopussa vähintään alkuhetken mukaisella tasolla (korkokanta 4 %). Suurin kestävä hakkuusuunnite 1 ja 2 eroavat toisistaan siten, että ensin mainitussa vaihtoehdossa turve- ja kivennäismaiden kuusen hakkuuta optimoidaan yhtenä kokonaisuutena ja jälkimmäisessä vaihtoehdossa erikseen.

Turvemaiden kuusesta suuri osa on metsänhoidollisin perustein välittömästi hyödynnettävissä, mutta ikäluokkarakenteessa on kuilu varttuneiden kasvatusmetsiköiden kohdalla. Tätä osoittaa vuotuisen hakkuumahdon lasku vuosijakson 1996–2005 tasolta 6 milj. m³ jakson 2016–2025 tasolle 4 milj. m³. Samantapainen tulevaisuuden saatavuuskuilu kuusella on kivennäismailla, minkä vuoksi turvemaa-alueiden osuus kuusen hakkuumahdosta kasvaisi kuutiometriperustaisesta alenemisesta huolimatta 13

Taulukko 1. Kuusen vuotuisten hakkuumahdollisuuksien kehitys metsä- ja kitumaiden turvemaiilla vuosijaksolta 1996–2005 jaksolle 2016–2025 MELA-laskelmien mukaan eri hakkuustrategioilla (Nuutinen ym. 2000).

Laskentavaihtoehto	1996–2005		2016–2025	
	Milj. m ³ /a	Osuus kuusen hakkuista, %	Milj. m ³ /a	Osuus kuusen hakkuista, %
Hakkuumahto	6,0	13,1	3,9	20,0
Suurin kestävä hakkuusuunnite 1	3,6	13,8	5,7	18,0
Suurin kestävä hakkuusuunnite 2	4,2	16,6	3,8	12,0

prosentista 20 prosenttiin. Tätä ilmentää samansuuntainen kehitys kuusen suurimassa kestävässä hakkuusuunnitteessa vaihtoehdossa 1, mutta hakkuut kasvaisivat tällöin selvästi myös tilavuuden perusteella. Suurimmassa kestävässä hakkuusuunnitteessa vaihtoehdossa 2 kuusen vuotuisten hakkuumäärien taso turvemaiilla olisi tasaisin, n. 4 milj. m³, mutta turvemaiden osuus kuusen hakkuista alenisi.

Ojitusalueiden päätehakkuihin päästään laajasti aluksi maan eteläosan korpikuusikoissa, koska ne ovat olleet yleensä verraten runsaspuustoisia jo ojitettaessa (Eeronheimo 1985, Keltikangas ym. 1986, Paavilainen & Tiihonen 1988). Koko maan kuusipuustosta on tukkia 8. VMIn mukaan metsä- ja kitumaiden turvemaiilla 35 % (ojitetut 35 %, ojittamattomat 30 %) ja kivennäismailla 48 %, kun sovelletaan tavanomaisia kuusitukin mitta- ja laatuvaatimuksia (Nuutinen ym. 2000).

Nykyinen tietämys Suomen suometsien kuusitukkipuusta liittyy etupäässä muutamaani puuaineen ja runkojen perusominaisuuksiin, kun taas soveltavaa tutkittua tietoa laadusta, arvosta, puutavaralajeista ja niiden puustamaksukyvyistä on tuskin lainkaan (Verkasalo ym. 1998, ks. myös Sipi 1997). Suokuusen puuaineen perusominaisuuksista on tutkittu viitteellisesti luston leveyttä ja puuaineen tiheyttä ja niiden vaihtelua (Sirén 1952, Ollinmaa 1960, Hakkila 1966, 1968, ks. myös Kärkkäinen 1976, 1986a,b). Eräitä havaintoja on tehty myös mekaanisista ominaisuuksista (Jalava 1945). Kuusen reaktiipuuta (lylyä) ja sen ominaisuuksia on tutkittu yleisellä tasolla (Ollinmaa 1959, Kärkkäinen & Raivonen 1977, ks. myös Kärkkäinen 1985).

2 Hypoteeseja turvemaiden kuusen laadusta mekaanisen puunjalostuksen kannalta

Nyt ja vielä lähivuosikymmeninä hakkuihin tulevien ojitusalueiden kuusista suurin osa on ennen ojitusta syntyneitä, ns. ensimmäisen sukupolven puita. Tällaisille puille voidaan olettaa ainakin neljä laadullista erityispiirrettä:

- 1) Puut ovat kasvaneet ennen ojitusta hitaasti, minkä vuoksi tyvitukin sydäntavaraosan puuaine on ohutlustoista, tavallista tiheämpää, lujempaa ja jäykempää. Oksia on puu-

aineessa tiheässä ja ne ovat yleensä kuivia mutta mahdollisesti pieniä. Sydänpuuta voi olla tavallista enemmän.

- 2) Kasvun elvyttyä ojituksen jälkeen vuosilustot paksuuntuvat ja tiheys alenee (sydäntavaran ulkopuolella ja rungon ylempissä osissa), joten puun säteensuunnassa puuaine on laadultaan normaalia epätasaisempaa. Kuolleiden ja karsiutuneiden oksien kylestyminen tehostuu, joten vanhana puu voi olla ulkoisesti hyvinkin vähäoksainen.
- 3) Varsinkin märillä nevamaisilla (saraisilla) soilla puut ovat kasvaneet yleensä harvassa ennen ojitusta (pl. aidot korvet) ja puuston rakenne on epätasainen. Näillä tekijöillä on haitallisia vaikutuksia oksikkuuteen ja mahdollisesti runkomuotoon (tyvilenkous, tyvekkyys, kapeneminen, latvanvaihdot, poikaoksat).
- 4) Puut kasvavat mättäillä, varsinkin märillä nevamaisilla (saraisilla) soilla, jolloin puut jäävät korkealle turvepinnan alentuessa kuivatuksen jälkeen. Kasvuisimmat puut ovat lisäksi usein ojanvarsilla. Täten tyvilenkous ja tyvekkyys on yleistä.

Ojituksen jälkeen syntyvien ns. toisen sukupolven puiden ja myös ennen ojitusta syntyneisiin puihin kasvavien ylempien osien laatukehityksen edellytykset ovat ilmeisesti lähellä vastaavan ravinteisuustason kivennäismaita. Kasvuolojen parannuttua alunperin harvat puustot täydentyvät, pienpuut runsastuvat ja tukkipuut mittaiset puut lisääntyvät, ilmeisesti eniten viljavilla nevamaisilla (saraisilla) rämeillä. Runsaampi suhteessa fosforiin/kaliumiin voi silti johtaa turvemailla suhteellisen paksuihin oksiiin. Toisaalta ojituksen jälkeen syntyy usein tiheä taimikko, jolla on edellytykset tuottaa vähä- ja pienioksaista puuta, mikäli ensiharvennus tehdään ajoissa. Kasvualusta on pehmeä ojituksen jälkeenkin, joten tyviosan runkomuoto-ongelmat ovat edelleen ilmeisiä.

Suometsien kuusipuun myönteisiksi laadullisiksi piirteiksi voidaan olettaa hidaskasvuisuus ja sydäntavaran ohutlustoisuus, korkea tiheys, hyvät mekaaniset ominaisuudet ja nuorpuuongelmien todennäköinen puuttuminen. Kielteisiä piirteitä voivat olla runkojen ikään nähden verraten vaatimaton järeys, epätasainen luston leveys ja siitä aiheutuvat puuaineen ulkonäkövialat ja kuivaus- ja työstöongelmat (halkeilu, lohkeilu), sydäntavaran kuivaoksaisuus (oksat voivat silti olla pieniä) ja myös voimakas ulkoinen oksikkuus sekä runsaat runkomuotovialat ja niistä puuaineeseen aiheutuvat lyly, vino- ja poikkisyisyys, alentunut lujuus ja kuivausvialat (vääntyily, kieroutuminen). Havupuiden apteeraus ja sisäisen laadun päättelemisen ulkoisten tekijöiden perusteella on soilla erilaista ja ilmeisesti epävarmempaa kuin kangasmailla: saadaanko aidosti oksatonta tyvitukkaa (minimipituus) ja/tai terveoksaista latvatukkaa?

3 Kuusen laatu- ja arvosuhteet -tutkimus: turve- ja kivennäismaiden kuusen laatuero

3.1 Aineistot ja menetelmät

Metlan tutkimuksessa Kuusen laatu- ja arvosuhteet vuosina 1994–95 kerätystä tukkipuiden aineistosta on käytettävissä tuloksia päätehakkuuvaiheen ja sitä lähentelevän (ikä 60–140 vuotta) korpikuusen rungon ja puuaineen ominaisuuksien ja sahapuulaa-

dun ja -arvon vertailemiseksi kivennäismaiden luontaisesti syntyneeseen ja istutettuun kuuseen. Aineisto käsittää yhteensä 240 kaatokoepuuta 48 kuusivaltaisesta metsiköstä, joista on kolmannes kutakin maapohjan ja syntyvän yhdistelmää (taulukko 2). Aineisto on peräisin neljältä merkittävältä kuusen kasvatus- ja käyttöalueelta maan eteläosasta, joilla kasvuedellytykset ovat erilaisia lämpösumman, kuusimaiden viljavuuden, ilmaston mereisyyden/mantereisuuden ja maanpinnan korkeuden mukaan (kuva 1).

- 1) Etelä-Suomi, rannikko, mereinen ilmasto, viljavuudeltaan vaihtelevat kuusimaat;
- 2) Etelä-Suomi, sisämaa, viljavat kuusimaat, korkeus merenpinnasta alle 100 m;
- 3) Suomenselkä, karuhkot kuusimaat, korkeus merenpinnasta 200–300 m;
- 4) Savo, melko viljavat kuusimaat, mantereinen ilmasto.

Aineistojen puustojen yleistietoja on esitetty metsiköittäin tämän julkaisun artikkelissa Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu.

Kuhunkin otosmetsikköön rajattiin 30 m x 30 m kertakoeala, jolta määritettiin kaikkien käyttöpuukokoisten runkojen (rinnankorkeusläpimitta vähintään 9 cm) puulaji ja rinnankorkeusläpimitta. Koealalta määritettiin tavanomaiset puustoa ja kasvupaikkaa kuvaavat taksatoriset tunnuksset sekä aiemmat metsänhoidon ja -parannuksen toimenpiteet (harvennukset, ojitukset, lannoitukset). Koealalta valittiin harkinnanvaraisesti viisi tukkipuukokoista kuusta kaatokoepuiksi vallitsevasta latvuskerroksesta.

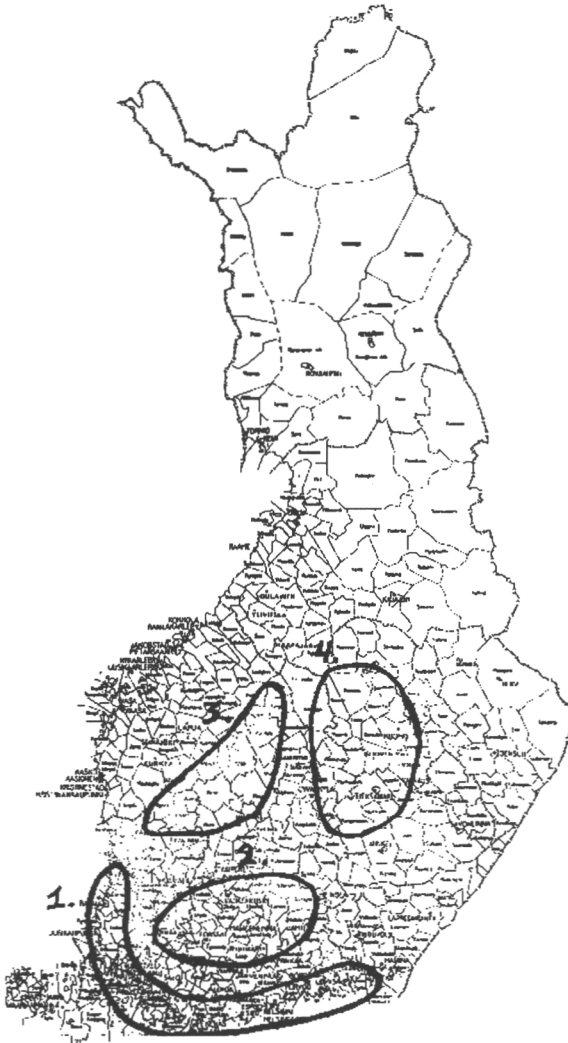
Taulukko 2. Koepuiden ominaisuuksien keskiarvoja ja -hajontoja kuusitukkirunkojen ja -tukkien laadun ja arvon tutkimuksissa metsikkötyypin ja maantieteellisen alueen mukaan.

Alueet: 1 = Etelä-Suomi, rannikko; 2 = Etelä-Suomi, sisämaa; 3 = Suomenselkä; 4 = Savo.

Metsikkö- tyyppi	Maantie- teellinen alue	N	D _{1,3} , cm		Ikä, a		Pituus, m		Tilavuus, dm ³	
			\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	20	27,6	6,8	89	27	23,9	3,0	769	424
	2	20	27,1	4,9	99	34	23,0	2,7	715	324
	3	20	26,4	4,5	126	25	21,7	2,5	595	281
	4	20	23,8	4,3	107	16	20,1	2,3	473	224
	Σ	80	26,2	5,0	111	26	22,0	2,9	627	321
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	20	30,6	8,3	86	24	24,4	2,6	930	501
	2	25	26,9	6,5	81	28	23,4	3,4	698	371
	3	25	27,6	5,2	108	21	22,5	2,3	664	256
	4	20	27,3	5,9	102	13	22,9	2,8	705	318
	Σ	90	28,0	6,5	94	25	23,2	2,9	742	375
MT-OMT, istutettu	1	20	24,9	4,9	66	10	24,1	3,2	653	337
	2	15	24,3	4,5	57	12	22,3	2,4	528	233
	3	15	25,4	3,8	70	6	21,8	2,9	571	249
	4	20	29,6	5,8	66	8	24,6	3,0	962	348
	Σ	70	26,2	5,2	65	10	23,4	3,1	668	325

Yhden koepuun kaikkien naapurikoepuiden tuli olla kuusia, koska tulosten tuli vastata puulajipuhtaita kuusikoita. Koepuiden tuli olla eläviä, ulkoisesti terveitä ja lahotomia. Niiden tuli täyttää tukkipuiden yleiset järeys- ja suoruusvaatimukset, mutta oksikkuusrajat saivat ylittyä. Koealan kuusitukkipuiden järeysalue tuli kattaa kokonaisuudessaan. Pienin hyväksyttävä rinnankorkeuslähimitta oli 18 cm ja suurin 50 cm.

Koepuista tehtiin metsässä yksityiskohtaiset pysty- ja kaatokoepuumittaukset. Pystyssä määritettiin sijainti maastossa suhteessa topografiaan, viiden lähimmän naapuripuun tai -kannon suunta ja etäisyys suhteessa koepuuhun, latvuskerrosluokka (päävaltapuu, lisävaltapuu), oksastotyyppi (harja, kampa, laaka, nauha, huiskilo), puun



Kuva 1. Aineiston keruun alueellinen ositus kuusitukkirunkojen ja -tukkien laadun ja arvon tutkimuksissa: 1) Etelä-Suomi, rannikko; 2) Etelä-Suomi, sisämaa; 3) Suomenselkä; 4) Savo.

pituus ja ulkoiset oksikkuusrajat kaatokorkeudelta, latvuksen leveys (leveimmältä kohdaltaan ja kohtisuorassa sitä vastaan) sekä erilaiset ulkoiset viat. Kaadettuna kirjattiin vähintään 6 cm paksun rungonosan jokaisen oksakiehkuran etäisyys latvasta ja jokaisen oksan laatu (tuore, kuiva, laho, kyhmy, pysty (tuore/kuiva/laho)) ja mitattiin jokaisen kiehkuran keskimääräinen oksakulma ja jokaisen oksan ulkoinen kuorellinen läpimitta; välioksia ei mitattu.

Runkoanalyysiä ja puuaineen laboratoriomittauksia varten joka koepuusta sahattiin koekiekot seuraavilta korkeuksilta kaatokohdasta lukien (m): 0,1; 0,5; 1,3; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; ... Kiekoista mitattiin pienin ja suurin kuorellinen ja kuoreton läpimitta, sydänpuun pienin ja suurin läpimitta, ytimen epäkeskisyys eli sijainti suhteessa suurimpaan ja pienimpään läpimittaan, lylypuun alkamis- ja päättymiskulma ja alkamis- ja päättymisetäisyys suhteessa ytimeen. Lustoanalyysiä ja kuiva-tuoretiheyden määrittämistä varten 1, 4, 8, 12 ja 16 m:n korkeuksilta 10 cm:n läpimittaan asti otetuista kiekoista sahattiin pohjois-etelä suunnassa 3 cm paksut ja 5 cm leveät soivot.

Oksien sisärakenteen määrittämiseksi sahattiin n. 20 cm pitkät koepölkkyt 10 cm:n läpimittaan saakka niistä oksakiehkuroista, jotka olivat lähinnä seuraavia korkeuksia kaatokohdasta lukien (m): 0,5; 1,3; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; ... Oksattomalta osalta pölkkyt sahattiin kuoressa näkyneiden okakyhmyjen ja oksanarprien perusteella. Laboratoriossa jokaisesta kiehkurasta sahattiin kaksi näyteoksa, toinen tuoreista ja toinen kuivista oksista, jotka halkaistiin pituussuunnassa ja 3 cm:n välein kuorettomasta pinnasta ytimeen. Näyteoksista mitattiin pienin ja suurin läpimitta (mm) poikkisuuntaisia sahauskohtia vastaavista pinnoista ja terveen ja kuolleen oksan rajakohdan sijainti kuorettomasta vaippapinnasta (mm).

Rungon läpimitan ja pituuden mittaustulosten perusteella laadittiin puun soikeus huomioon ottaen runko- ja sydänpuukäyrät splini-tasoituksella (Lahtinen & Laasasenaho 1979). Runkokäyrän avulla tehtyyn rungon geometriseen kuvaukseen muodostettiin edelleen sisälaatu oksien ja lylypuun osalta. Jokaisen ulkoisesti havaitun kiehkuraoksen läpimitan kehittyminen rungon kuorettomasta pinnasta ytimeen ja kuolleilla oksilla terveen ja kuolleen oksan rajakohta ennustettiin useamman selittävän muuttujan regressiomalleilla. Lyly- ja sydänpuun rajakohdat tasoitettiin rungon sisään lineaarisesti kiekkomittausten perusteella.

Muodostetut rungot apteerattiin teoreettisesti kuudella eri vaihtoehdolla:

1. Normaalitukit 5,5 m, minimilatvaläpimitta 16 cm; pikkutukit 4,3 m, minimilatvaläpimitta 12 cm; kuitupuu minimipituus 3 m, minimilatvaläpimitta 7 cm
2. Normaalitukit 4,3-5,8 m, minimilatvaläpimitta 16 cm; pikkutukit 4,3 m, minimilatvaläpimitta 12 cm; kuitupuu minimipituus 3 m, minimilatvaläpimitta 7 cm
3. Sorvitukit 5,2 m, minimilatvaläpimitta 20 cm; normaalitukit 4,3-5,8 m, minimilatvaläpimitta 16 cm; pikkutukit 4,3 m, minimilatvaläpimitta 12 cm; kuitupuu minimipituus 3 m, minimilatvaläpimitta 7 cm
4. Kuten 2, mutta tukin katkaisu juuri latvusrajan alapuolelta (pölkkypituuksien puitteissa)
5. Kuten 2, mutta tukin katkaisu 1 m latvusrajan alapuolelta (pölkkypituuksien puitteissa)
6. Kuten 2, mutta tukin katkaisu 2 m latvusrajan alapuolelta (pölkkypituuksien puitteissa)

Kullakin apteerausvaihtoehdolla saadut normaali- ja pikkutukit sahattiin teoreettisesti; sahaussuunta valittiin satunnaislukugeneraattorilla sillä rajoituksella, että kun-kin tukin latvan soikeus otettiin huomioon. Sahaus tehtiin sekä perinteisellä sahaustavalla, jossa pyritään maksimoimaan saantoa, ja tuotelähtöisellä sahaustavalla ns. kermankuorintasahauksella, jossa pyritään saamaan erityisesti terveoksaisia, höylätavaralaatuisia, täyssärmäisiä ja tietyistä tukkiluokista lisäksi ydinvapaita ja dimensioiltaan poikkeuksellisia laatuja. Saheet laatuokiteltiin sekä pohjoismaisten NT-lajittelunormien (Nordic Timber ... 1994) että tuotelähtöisten lajittelunormien mukaan. Saheiden luokittelussa voitiin ottaa huomioon dimensiot, oksikkuus ja va-jaasärmäisyys, sen lisäksi tarkasteltiin rinnalla vaihtoehtoa, jossa myös lylypuu otettiin huomioon. Laatuokitellut saheet hinnoiteltiin vuosien 1994 ja 1995 keskimyyntihintojen keskiarvon perusteella. Perinteisen ja tuotelähtöisen sahauksen asetetiedot, tuotelähtöiset laatuokitusohjeet ja laatuokittaiset hintataulukot saatiin kahdelta tutkimusta konsultoineelta sahalta. Rungoille ja tukeille laskettiin teoreettiset bruttoarvot summaamalla saheiden em. tavalla saadut myyntihinnat, puumassateollisuudelle menevän sahanhakkeen ja -purun myyntihinnat (hinta paperitehtaalla) ja kuitupuun ja sorvitukin myyntihinnat (hinta paperi- tai vaneritehtaalla).

3.2 Tuloksia

3.2.1 Kuusitukkirunkojen ja niiden puuaineen ominaisuudet

Ojitettujen korpien kuusitukkipuilla havaittiin ja voitiin tulosten pohjalta päätellä olevan seuraavia keskimääräisiä eroja runkojen, tukkien ja puuaineen ominaisuuksissa verrattuna kivennäismaiden luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin puihin (taulukot 3–5).

Plussia:

- + Ohuimmat vuosilustot, erityisesti tyvitukkiosassa ja sahauksessa sydäntavaraksi tulevassa ytimen viereisessä puussa
- + Tyvitukkiosassa ja siinä varsinkin ytimen viereisessä puussa korkeampi puuaineen tiheys ja täten paremmat mekaaniset ominaisuudet; muussa tukkiosassa jossain määrin alhaisemmat arvot kuin kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä mutta korkeammat kuin istutetuissa kuusissa
- + Ei ilmeisiä oireita nuorpuuongelmista – ytimen läheiset lustot ohuita
- + Pienemmät terveet oksat
- + Poikaoksia tyvitukissa vähemmän ja pienempiä, muussa tukkiosassa kuitenkin selvästi enemmän ja suurempia

Miinuksia:

- Ikään nähden pienempi kokonaisjäreys ja varsinkin pienempi tukkipuun tilavuus – kuitenkin täysin riittävä sahaukseen ja sorvaukseen
- Vuosilustojen leveys kasvanut jopa moninkertaiseksi ojituksen jälkeen – äkilliset vaihtelut voivat olla riskitekijä jatkojalostuksessa
- Ulkoisesti oksaton tyvitukkiosa lyhyempi kuin kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä mutta kuitenkin pidempi kuin istutetuissa kuusissa
- Ulkoisesti terveksäinen osa alkaa ylempää kuin kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä mutta kuitenkin alempaa kuin istutetuissa kuusissa

- Enemmän oksakymyjä ja kuolleita oksia, vähemmän terveitä oksia
- Hieman suuremmat kuolleet oksat
- Rungot lyhyempiä ja ilmeisesti tyvekkäämpiä ja ilmeisesti myös tyvimutkaisempia (pehmeä kasvualusta)
- Useammin ja jossain määrin enemmän lylyä tyvitukkiosassa – laajuus kuitenkin epäselvä ja vaikeasti mitattavissa

Turve- ja kivennäismaiden kuusen koko- ja laatueroja on syytä tarkastella myös alueittain ja rungon läpimittaluokittain, koska näiden tekijöiden perusteella tehdään kustannus-, saanto-, laatu- ja arvovertailuja puunhankinnan, -lajittelun ja -käytön tarpeisiin. Tätä varten aineistossa tehtiin kovarianssianalyysit, joissa kutakin kohde- muuttujaa selitettiin metsikkötyypin (maapohja ja syntytapa), maantieteellisen alueen ja rungon rinnankorkeusläpimitan perusteella. Yhteenveto näiden analyysien tuloksista on taulukossa 6. Läpimittaluokittaisia tuloksia on havainnollistettu kuvissa 2–9. Nämä tulokset on tasoitettu lineaarisesti läpimitan mukaan tilavuustunnuksia lukuun ottamatta, jotka on tasoitettu epälineaarisesti polynomifunktioilla.

Samassa läpimitassa korpikuuset olivat lyhyempiä kuin kivennäismaakuuset, mutta solakkuudessa oli vain suuntaa antava ero kivennäismaakuusten eduksi ja kapenemisessa ei eroa ollut lainkaan. Rungon kokonaistilavuuteen ja sydän- ja pintapuun määriin ja osuuksiin rungon eri osissa maapohja ei vaikuttanut, mutta tyvitukin ja muun tukkiosan tilavuudet olivat suuntaa antavasti pienemmät kuin kivennäismaakuusilla.

Lustonleveys oli korpikuusilla tässäkin tarkastelussa pienempi kuin kivennäismaakuusilla. Vastaavasti tiheys oli korpikuusilla tyvitukkiosassa korkeampi kuin kivennäismaakuusilla, varsinkin alle 30 cm:n läpimitassa, muussa tukkiosassa vaikutusta ei ollut ja pikkutukkiosassa vaikutus oli vain suuntaa antava. Lylypuun osuus oli

Taulukko 3. Kuusitukkirunkojen koko- ja muototunnusten keskiarvot (\bar{x}) ja keskihajonnat runkojen välillä (s_r) ja metsiköiden välillä (s_m) korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä kuusikoissa ja istutuskuusikoissa. Tyvitukkiosa = 5 m kannonkorkeudelta ylöspäin, muu tukkiosa = muu kuin tyvitukkiosa 16 cm:n kuorellista läpimittaa vastaavaan korkeuteen saakka, pikkutukkiosa = 16 cm:n ja 10 cm:n läpimittoja vastaavien korkeuksien välinen rungonosa.

	Ojitettu korpi, luontainen			MT-OMT, luontainen			MT-OMT, istutettu		
	\bar{X}	s_r	s_m	\bar{X}	s_r	s_m	\bar{X}	s_r	s_m
Ikä, vuotta	115	23	15	94	25	12	64	10	10
$D_{1,3}$, cm	26,1	5,0	2,5	28,0	6,5	4,3	26,2	5,2	4,0
Pituus, m	22,0	2,9	2,2	23,2	2,9	2,2	23,4	3,0	2,6
Tilavuus, dm ³									
- Koko runko	627	299	187	742	375	278	668	323	247
- Tyvitukkiosa	272	103	57	317	142	101	277	107	79
- Muu tukkiosa	275	210	135	348	250	188	311	235	179
- Pikkutukkiosa	76	20	8	72	17	9	76	18	9
Rungon									
- Solakkuus	0,87	0,10	0,05	0,86	0,13	0,08	0,91	0,10	0,08
- Kapeneminen, cm	3,3	1,0	0,5	3,4	1,2	0,8	3,3	1,0	0,6

tyvitukkiosassa korpikuusilla suuntaa antavasti suurempi kuin kivennäismaakuusilla, mutta muussa tukkiosassa ja pikkutukkiosassa ei eroja ilmennyt.

Ulkoisissa oksarajoissa korpikuusten ja luontaisesti syntyneiden kivennäismaiden kuusten välillä ei ollut eroja, mutta istutuskuusissa kuivaoksaraja oli alempana ja

Taulukko 4. Kuusitukkirunkojen ulkoisten oksikkuustunnusten keskiarvot (\bar{x}) ja keskihajonnat runkojen välillä (s_r) ja metsiköiden välillä (s_m) korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä kuusikoissa ja istutuskuusikoissa. Tyvitukkiosa = 5 m kannonkorkeudelta ylöspäin, muu tukkiosa = muu kuin tyvitukkiosa 16 cm:n kuorellista läpimittaa vastaavaan korkeuteen saakka, pikkutukkiosa = 16 cm:n ja 10 cm:n läpimittoja vastaavien korkeuksien välinen rungonosa.

	Ojitettu korpi, luontainen			MT-OMT, luontainen			MT-OMT, istutettu		
	\bar{X}	s_r	s_m	\bar{X}	s_r	s_m	\bar{X}	s_r	s_m
Ulkoiset oksarajat, m									
- Alin oksakyhmy	0,24	0,43	0,21	0,22	0,50	0,29	0,21	0,58	0,24
- Alin kuollut oksa	1,15	0,91	0,63	1,40	1,23	1,03	0,53	0,60	0,43
- Latvusraja	8,3	2,7	1,9	7,3	2,7	1,8	9,0	2,5	1,9
- Ylin kuollut oksa	14,8	3,2	2,2	16,0	4,0	3,0	14,9	3,3	2,0
Tukkiosan oksat, kpl/m									
- Tyvitukkiosan kyhmyt	5,4	2,9	1,9	5,1	3,5	2,7	2,4	2,1	1,5
- Tyvitukkiosan kuolleet oksat	10,5	3,3	2,0	10,0	3,8	3,0	11,0	2,9	2,1
- Tyvitukkiosan elävät oksat	0,096	0,25	0,13	0,28	0,58	0,27	0,18	0,82	0,46
- Tyvitukkiosan pystyoksat	0,013	0,060	0,029	0,022	0,063	0,031	0,021	0,070	0,026
- Muun tukkiosan kyhmyt	0,31	0,58	0,40	0,23	0,42	0,32	0,11	0,26	0,12
- Muun tukkiosan kuolleet oksat	8,8	9,1	3,7	5,9	2,9	1,7	6,1	2,8	1,4
- Muun tukkiosan elävät oksat	3,5	2,6	1,3	4,6	2,7	1,7	3,0	2,3	1,7
- Muun tukkiosan pystyoksat	0,048	0,133	0,047	0,020	0,052	0,027	0,051	0,112	0,066
- Pikkutukkiosan kyhmyt	0,073	0,207	0,199	0,031	0,120	0,047	0,020	0,089	0,042
- Pikkutukkiosan kuolleet oksat	2,4	2,6	1,0	1,8	2,2	1,3	1,3	1,7	1,1
- Pikkutukkiosan elävät oksat	10,2	3,3	1,4	10,5	3,5	2,0	9,5	3,2	2,2
- Pikkutukkiosan pystyoksat	0,044	0,113	0,054	0,041	0,093	0,052	0,069	0,128	0,062
Tukkiosan suurin oksa, mm									
- Tyvitukkiosan kuollut oksa	19,0	7,4	3,8	18,9	6,0	4,9	18,6	6,8	4,2
- Muun tukkiosan kuollut oksa	26,2	10,0	5,3	25,3	9,2	4,4	23,5	5,6	3,6
- Muun tukkiosan elävä oksa	31,8	6,1	3,2	34,2	9,1	5,3	30,0	5,5	3,8
- Pikkutukkiosan kuollut oksa	15,1	4,3	4,1	14,3	4,0	3,6	10,1	3,8	3,0
- Pikkutukkiosan elävä oksa	24,2	5,3	3,2	24,5	6,1	3,8	21,1	3,2	2,0

Taulukko 5. Kuusitukkirunkojen puuaineen ominaisuuksien keskiarvot (\bar{x}) ja keskihajonnat runkojen välillä (s_r) ja metsiköiden välillä (s_m) Suomen eteläosan korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä kuusikoissa ja istutuskuusikoissa. Tyvitukkiosa = 5 m kannonkorkeudelta ylöspäin, muu tukkiosa = muu kuin tyvitukkiosa 16 cm:n kuorellista läpimittaa vastaavaan korkeuteen saakka, pikkutukkiosa = 16 cm:n ja 10 cm:n läpimittoja vastaavien korkeuksien välinen rungonosa.

	Ojitettu korpi, luontainen			MT-OMT, luontainen			MT-OMT, istutettu		
	\bar{x}	s_r	s_m	\bar{x}	s_r	s_m	\bar{x}	s_r	s_m
Vuosiluston leveys, mm									
- Tyvitukkiosa	1,83	0,53	0,48	2,27	0,64	0,58	3,05	0,71	0,62
- Muu tukkiosa	2,12	0,64	0,59	2,32	0,77	0,64	3,15	0,92	0,53
- Pikkutukkiosa	2,10	0,66	0,62	2,29	0,70	0,61	3,80	0,61	0,55
Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³									
- Tyvitukkiosa	377,8	33,8	18,5	383,0	30,7	22,1	365,8	29,1	14,8
- Muu tukkiosa	363,2	69,6	27,7	375,1	57,3	30,9	350,7	76,4	30,4
- Pikkutukkiosa	381,6	37,2	29,8	393,0	27,1	20,3	374,5	28,7	24,0
Sydänpuuprosentti									
- Tyvitukkiosa	42,0	10,8	7,9	41,6	10,8	7,2	41,8	9,0	4,0
- Muu tukkiosa	33,3	11,7	8,8	34,7	10,0	7,0	31,6	11,1	5,6
- Pikkutukkiosa	14,4	8,0	5,3	16,2	9,4	4,9	13,3	8,0	4,6
Pintapuun paksuus, cm									
- Tyvitukkiosan latva	3,6	0,9	0,5	3,4	1,0	0,6	3,4	1,0	0,6
- Muun tukkiosan latva	3,8	0,9	0,6	3,4	0,8	0,5	4,1	1,0	0,5
- Pikkutukkiosan latva	4,4	0,8	0,5	4,2	0,9	0,5	4,9	1,2	0,5
Lylypuuprosentti									
- Tyvitukkiosa	10,5	7,0	5,2	7,9	6,0	3,8	7,8	7,0	4,2
- Muu tukkiosa	4,8	5,0	3,2	5,7	5,0	3,4	6,1	6,0	3,2
- Pikkutukkiosa	4,5	4,5	3,5	3,5	3,3	2,8	6,0	6,0	3,5

latvusraja korkeammalla ja tyvitukkiosassa oli lisäksi vähemmän oksakymyjä. Korpikuusissa oli muussa tukkiosassa ja pikkutukkiosassa enemmän kuivia oksia kuin kivennäismaakuusissa, terveitä oksia oli muussa tukkiosassa vastaavasti enemmän kuin istutetuissa mutta vähemmän kuin luontaisesti syntyneissä kivennäismaakuusissa. Maapohja vaikutti suurimman kuolleen oksan paksuuteen vain pikkutukkiosassa, jossa tämä oli istutetuissa kuusissa sekä kivennäis- että turvemaiden luonnonkuusia pienempi. Suurin muun tukkiosan ja pikkutukkiosan terve oksa oli myös istutetuissa kuusissa pienempi kuin luonnonsyntyisissä.

3.2.2 Kuusitukkirunkojen puutavaralajijakauma ja yksikköarvo

Taulukoissa 7 ja 8 on esitettyjä tuloksia aineiston kuusitukkirunkojen kokonaistilavuuden puutavaralajijakaumasta ja runkojen bruttoyksikköarvosta luvussa 3.1 kuvattulla tavalla määritettynä.

Normaali-, pikku- ja sorvitukkipuun osuus kertymästä oli kaikissa apterausvaihtoehtoisissa poikkeuksellisen korkea, lähes 90 %. Tämä johtui ennen kaikkea siitä,

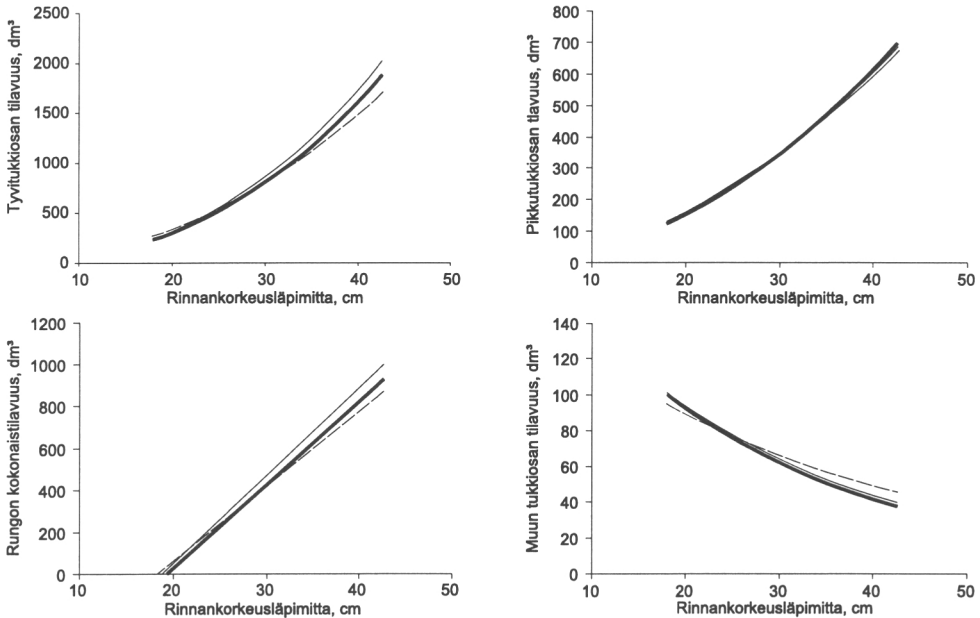
että aineistosta rajattiin rungoltaan huonomuotoiset ja ilmeisen lahoiset puut. Metsiköt sinänsä edustivat tavanomaisen metsänhoidon periaatteiden mukaan käsiteltyjä mutta joka tapauksessa hoidettuja metsiä, joten päätehakkuuvaiheeseen kasvatettujen puiden koko- ja laatujaika oli aineistossa tästäkin syystä keskimääräisiä talousmetsiä parempi (ks. myös taulukko 2). – Ahosen ja Mäkelän (1995) 8. valtakunnan metsien inventoinnin aineistolla tekemän laskelman mukaan mitta- ja laatuvaatimuksiltaan tämän tutkimuksen normaalitukkipuuta vastaavan tukkipuun osuus Etelä-Suomen metsälautakuntien kuusen kokonaistilavuudesta oli 48,9 %; tukkiosuuden vaihtelu metsälautakuntien välillä oli 32,4–61,6 %. Päätehakkuupuustoissa tukkiosuus on luonnollisesti korkeampi. Riepon ja Marjomaan (1992) Etelä-Suomen päätehakkuuleimi-koissa tekemässä tutkimuksessa kuusen apteerausohjeiden mukainen ns.

Taulukko 6. Kovarianssianalyysit metsikkötyypin (maapohja ja syntytapa), maantieteellisen alueen ja rinnankorkeuslähimittan vaikutuksista kuusitukkirunkojen ja niiden puuaineen ominaisuuksiin; merkitsevät vaikutukset ($p < 0,05$) vahvennettu ja suuntaa antavat vaikutukset ($0,05 < p < 0,15$) kursivoitu. Tyvitukkiosa = 5 m kannonkorkeudelta ylöspäin, muu tukkiosa = muu kuin tyvitukkiosa 16 cm:n kuorellista lähimittaa vastaavaan korkeuteen saakka, pikkutukkiosa = 16 cm:n ja 10 cm:n lähimittoja vastaavien korkeuksien välinen rungonosa.

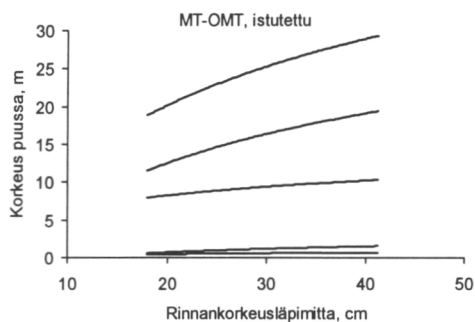
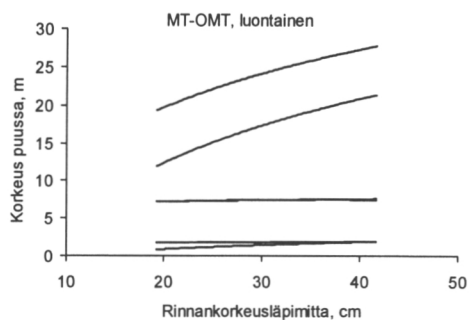
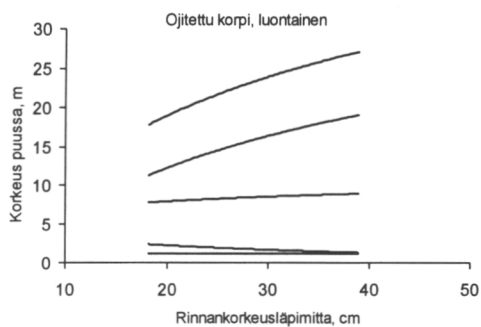
	Vakio		Metsikkö- tyyppi		Maan- tieteellinen alue		Rinnankorkeus- lähimitta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Tilavuus, dm ³								
- Koko runko	204,8	0,000	1,5	0,230	4,5	0,008	597,8	0,000
- Tyvitukkiosa	610,1	0,000	3,7	0,180	1,0	0,373	2442,8	0,000
- Muu tukkiosa	176,0	0,000	1,8	0,180	3,6	0,022	341,0	0,000
- Pikkutukkiosa	523,4	0,000	0,035	0,966	2,7	0,058	90,1	0,000
Rungon pituus	18,6	0,000	7,3	0,001	3,5	0,017	347,0	0,000
Rungon solakkuus	370,0	0,000	2,1	0,132	3,1	0,036	23,4	0,000
Rungon kapeneminen, cm	2,5	0,124	0,8	0,465	1,1	0,372	12,2	0,001
Ulkoiset oksarajat, m								
- Alin oksakyhmy	3,6	0,064	0,1	0,888	2,5	0,076	1,1	0,294
- Alin kuollut oksa	0,4	0,538	5,4	0,008	5,7	0,002	0,4	0,441
- Latvusraja	11,6	0,001	3,6	0,036	1,3	0,304	0,4	0,551
- Ylin kuollut oksa	2,7	0,108	0,2	0,840	2,8	0,051	36,1	0,000
Tukkiosan oksat, kpl/m								
- Tyvitukkiosan kyhmyt	0,0	0,927	10,3	0,000	3,5	0,024	3,9	0,056
- Tyvitukkiosan kuolleet oksat	50,3	0,000	0,4	0,644	0,4	0,782	8,4	0,006
- Tyvitukkiosan elävät oksat	3,0	0,086	2,4	0,091	0,8	0,483	1,3	0,255
- Tyvitukkiosan pystyoksat	4,5	0,034	0,9	0,428	0,8	0,510	2,5	0,115
- Muun tukkiosan kyhmyt	0,1	0,721	5,2	0,006	7,5	0,000	0,4	0,523
- Muun tukkiosan kuolleet oksat	16,9	0,000	6,2	0,005	1,0	0,421	2,5	0,124
- Muun tukkiosan elävät oksat	4,3	0,045	3,3	0,049	2,4	0,080	23,1	0,000
- Muun tukkiosan pystyoksat	0,8	0,388	2,2	0,114	0,7	0,576	0,1	0,898
- Pikkutukkiosan kyhmyt	0,1	0,788	4,0	0,020	7,1	0,000	0,1	0,764
- Pikkutukkiosan kuolleet oksat	12,8	0,001	3,1	0,055	0,9	0,468	4,8	0,034
- Pikkutukkiosan elävät oksat	1,1	0,294	1,1	0,335	3,4	0,027	32,7	0,000
- Pikkutukkiosan pystyoksat	0,6	0,430	1,2	0,291	1,9	0,128	2,9	0,090

Taulukko 6 (jatkuu)

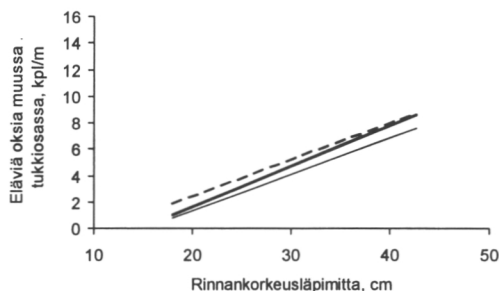
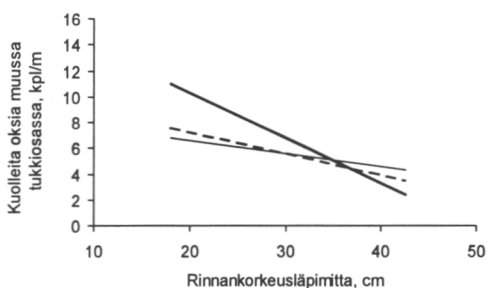
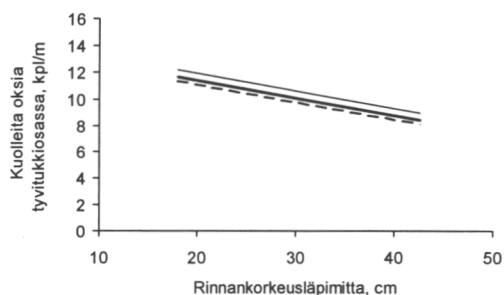
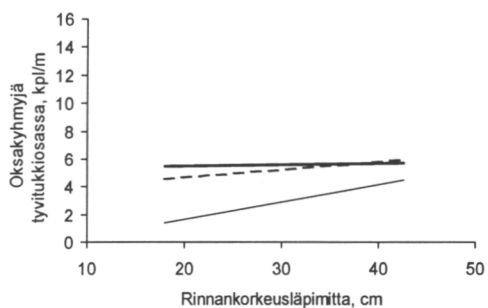
	Vakio		Metsikkö- tyyppi		Maantieteel- linen alue		Rinnankorkeus- läpimitta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Tukkiosan paksuin oksa, mm								
- Tyvitukkiosan kuollut oksa	5,3	0,027	0,1	0,910	0,8	0,522	2,9	0,096
- Muun tukkiosan kuollut oksa	5,9	0,019	1,6	0,198	0,0	1,000	8,4	0,006
- Muun tukkiosan elävä oksa	7,2	0,010	5,1	0,010	1,1	0,308	5,1	0,000
- Pikkutukkiosan kuollut oksa	0,8	0,375	6,2	0,002	0,2	0,875	25,6	0,000
- Pikkutukkiosan elävä oksa	0,0	0,958	12,1	0,000	2,3	0,076	102,6	0,000
Puuaineen vuosiluston leveys, mm								
- Tyvitukkiosa	10,4	0,003	19,9	0,000	2,5	0,077	0,8	0,364
- Muu tukkiosa	5,8	0,021	12,5	0,000	1,9	0,138	2,3	0,135
- Pikkutukkiosa	16,1	0,000	21,0	0,000	8,5	0,000	17,0	0,000
Puuaineen kuiva-tuore-tiheys, kg/m ³								
- Tyvitukkiosa	361,2	0,000	3,8	0,030	1,5	0,224	0,5	0,466
- Muu tukkiosa	96,7	0,000	1,8	0,176	0,8	0,487	1,7	0,201
- Pikkutukkiosa	635,5	0,000	2,4	0,092	1,1	0,339	0,6	0,427
Puuaineen sydänpuuprosentti								
- Tyvitukkiosa	7,8	0,008	0,9	0,421	2,5	0,075	16,3	0,000
- Muu tukkiosa	1,2	0,271	0,2	0,790	1,6	0,215	13,3	0,001
- Pikkutukkiosa	7,9	0,008	1,3	0,294	1,8	0,156	0,0	0,939
Pintapuun paksuus, cm								
- Tyvitukkiosan latva	28,9	0,000	0,8	0,448	3,8	0,017	2,8	0,103
- Muun tukkiosan latva	47,5	0,000	1,7	0,203	0,9	0,471	0,0	0,839
- Pikkutukkiosan latva	45,2	0,000	0,5	0,521	1,2	0,284	0,0	0,839
Puuaineen lylypuuprosentti								
- Tyvitukkiosa	12,1	0,001	2,2	0,121	4,8	0,006	2,2	0,148
- Muu tukkiosa	1,7	0,205	0,693	0,506	4,5	0,008	0,165	0,686
- Pikkutukkiosa	1,3	0,411	0,551	0,473	2,1	0,198	0,188	0,535



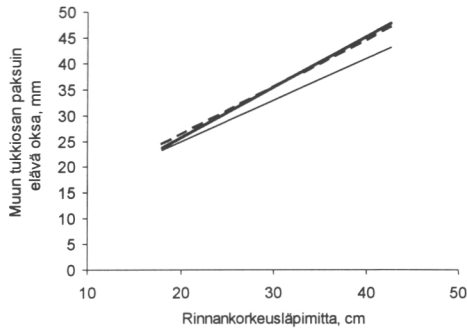
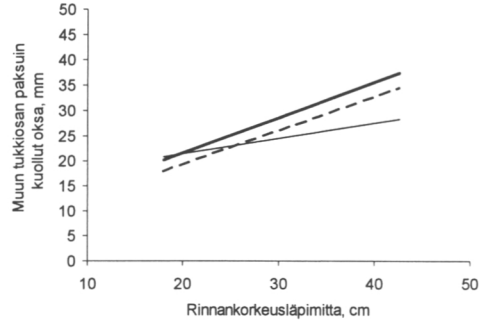
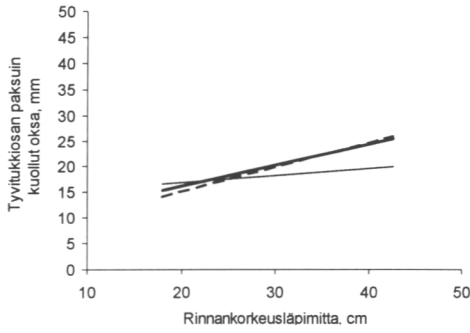
Kuva 2. Kuusitukkirungon ja sen eri puutavaralajiosien tilavuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. Metsikkötyypit: - - - - - Ojitettu korpi, luontainen; ————— MT-OMT-kivennäismaa, luontainen; MT-OMT, istutettu



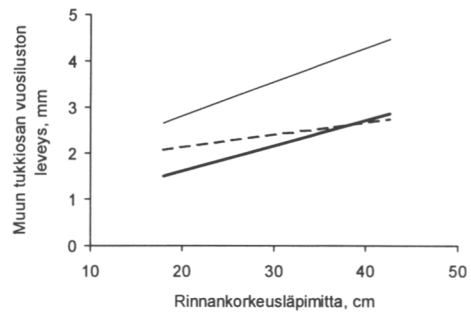
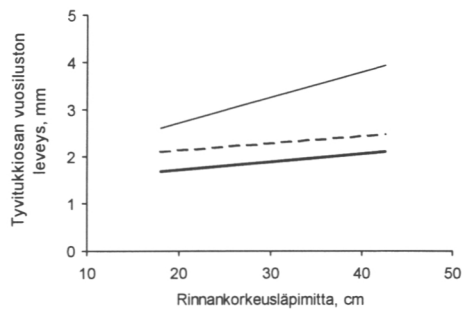
Kuva 3. Kuusitukkiringon oksikkuusvyöhykkeiden alkamiskorkeuksien riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. Rajat alhaalta lukien: alin oksakyhmy, alin kuollut oksa, latvusraja, ylin kuollut oksa, pituus.



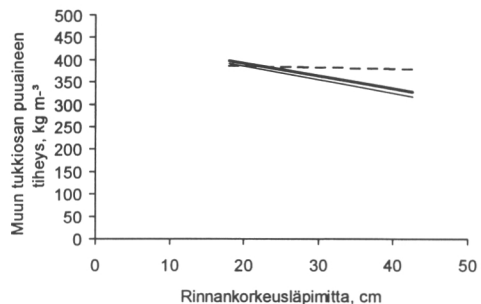
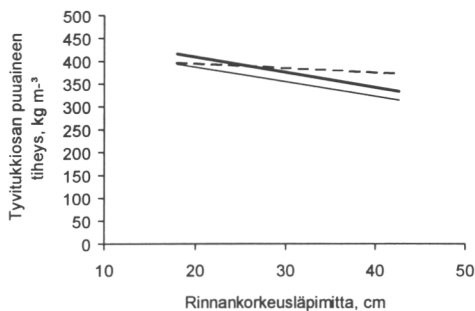
Kuva 4. Kuusitukkiringon tyvitukkiiosan ja muun tukkiiosan oksien esiintymistiheyden (kpl/m) riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä oksalajeittain. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)



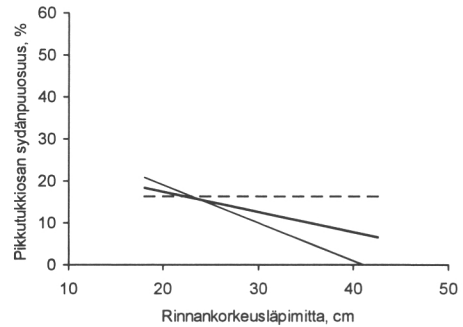
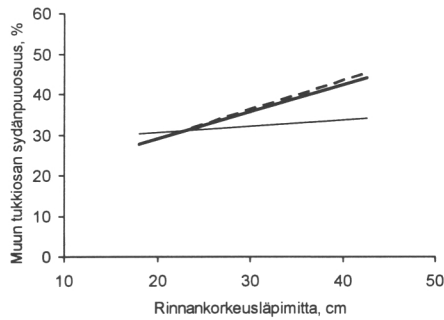
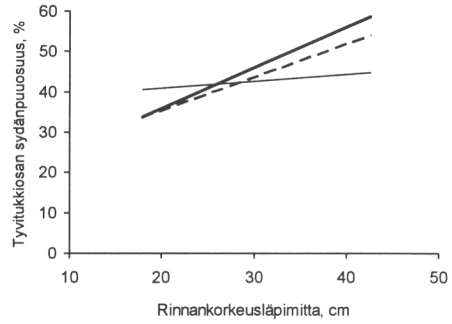
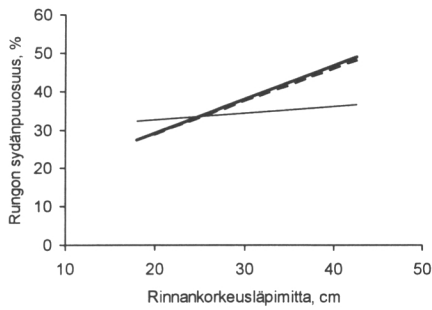
Kuva 5. Kuusitukkirungon tyvitukkiosan ja muun tukkiosan paksuimman oksan läpimitan riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)



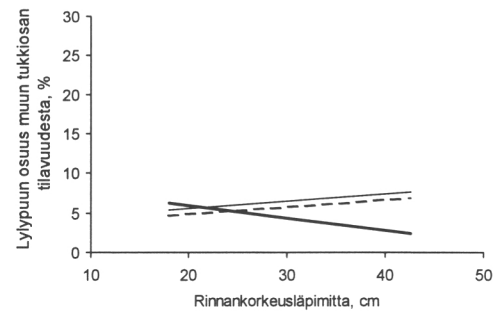
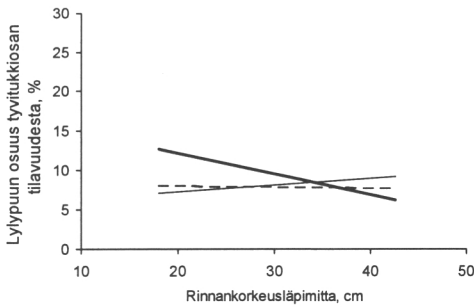
Kuva 6. Kuusitukkirungon tyvitukkiosan ja muun tukkiosan keskimääräisen puuaineen vuosiluston leveyden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)



Kuva 7. Kuusitukkirungon tyvitukkiosan ja muun tukkiosan keskimääräisen puuaineen kuiva-tuoretihedden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)



Kuva 8. Kuusitukkirungon ja sen eri puutavaralajiosien kuorettoman tilavuuden sydänpuuosuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)



Kuva 9. Kuusitukkirungon tyvitukkiosan ja muun tukkiosan kuorettoman tilavuuden lylypuuosuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja metsikkötyypistä. (Metsikkötyypit: kuten kuvassa 2.)

Taulukko 7. Kuusitukkirunkojen käyttöosan puutavaralajijakauma metsikkötyypin mukaan apteerausvaihtoehdoissa 1–3.

Metsikkö- tyyppi	Apteer- aus	Normaali- tukit	Pikku- tukit Tilavuusosuus, %	Vaneri- tukit	Kuitu- puu	Kaikki Tilavuus, m ³
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	77,7	10,8	0	11,5	47,3
	2	87,5	2,1	0	10,4	47,5
	3	30,1	22,5	37,0	10,4	43,3
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	80,5	9,4	0	10,1	70,5
	2	89,3	1,2	0	9,8	70,5
	3	32,4	19,0	37,1	11,5	70,5
MT-OMT, istutettu	1	79,5	9,6	0	10,9	43,3
	2	88,2	0,9	0	10,9	43,3
	3	30,6	22,4	36,1	10,9	43,3

Taulukko 8. Kuusitukkirunkojen käyttöosan ja niiden tukki- ja pikkutukkiosan bruttoyksikköarvo metsikkötyypin mukaan apteerausvaihtoehdoissa 1–3, kun lylypuu on sivuutettu tai otettu huomioon sahatavaran laatuluokittelussa ja hinnoittelussa. Perinteinen sahaustapa (ns. bulkkisahaus).

Metsikkö- tyyppi	Apteer- aus	Runko		Tukki- ja pikkutukkiosa	
		Lylypuu sivuutettu	Lylypuu otettu huomioon Bruttoyksikköarvo, mk/m ³	Lylypuu sivuutettu	Lylypuu otettu huomioon
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	561,7	518,7	608,5	559,9
	2	573,3	526,5	616,6	564,4
	3	443,6	402,0	620,0	592,9
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	574,4	526,3	616,4	563,0
	2	577,1	527,8	617,9	563,3
	3	429,0	405,7	585,4	564,6
MT-OMT, istutettu	1	577,5	534,9	623,5	575,7
	2	583,1	538,6	629,7	579,9
	3	443,8	419,8	609,5	592,0

optimitukkiosuus oli 77,6 %. Pohjois-Karjalassa tehdyssä selvityksessä kuusen tukkiosuus oli 16 päätehakkuleimikon aineistossa ns. yleisapteerauksessa keskimäärin 72 % (Tolkki & Saramäki 1997), osuus oli sama eräässä hyvälaatuisessa kuusileimikossa Keski-Suomessa (Kerkelä 1997).

Runkojen apteeraussäännöt vaikuttavat luonnollisesti leimikoiden hakkuukertymiin ja kertymien puutavaralajirakenteeseen. Esim. Tolkin ja Saramäen (1997) selvityksessä kuusen tukkiosuus oli päätehakkuleimikoissa suurimmillaan 82 %, kun tukin

minimiläpimitta oli 14 cm ja käytettävissä oli seitsemän tukkipituutta, ja pienimmillään 69 %, kun tukin minimiläpimitta oli 16 cm ja käytettävissä oli vain kaksi tukkipituutta. Tässä tutkimuksessa saatiin selvästi pienemmät erot kuusileimikkotyyppeiden ja myös apteerausvaihtoehtojen välille kuin voidaan olettaa, joka tämäkin johtui ainakin osaksi edellisessä kappaleessa mainituista otantatekijöistä. Normaalitykkien kertymä oli suurin tavanomaisessa apteerausvaihtoehdossa 2 eli 89 %, kun taas pikkutukkeja oli tällöin vain 1 %. Harvojen määrämittojen käyttö apteerausvaihtoehdossa 1 lisäsi selvästi pikkutukin osuutta, noin 10 prosenttiin. Sorvitukkien teko johti puolestaan tukkilajien osuuden tasoittumiseen, sorvitukkeja saatiin leimikon kokonaiskertymästä vajaa 40 %, normaalitykkeja 30 % ja pikkutukkeja yli 20 %.

Korpikuusikoissa normaalitykin osuus oli 2–3 %-yksikköä pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa kuusikoissa. Ero oli samansuuntainen korpikuusikoiden ja kivennäismaiden istutuskuusikoiden välillä, 0,5–2 %-yksikköä, vaikka koepuiden keskiläpimitassa ei ollut eroa ja ero koepuiden iässä oli 46 vuotta päinvastaiseen suuntaan. Vaneritukin osuus oli sama korpikuusikoissa ja luontaisissa kivennäismaakuusikoissa, noin yhden prosenttiyksikön korkeampi kuin istutuskuusikoissa. Pikkutukin osuus oli korpikuusikoissa vastaavasti 1–3,5 %-yksikköä suurempi kuin kivennäismaiden luontaisissa kuusikoissa ja vaneritukin sisältänyttä apteerausvaihtoehtoa 3 lukuun ottamatta 0,2–1,4 %-yksikköä korkeampi kuin kivennäismaiden istutuskuusikoissa. Mekaanisen puunjalostuksen raaka-aineen talteenoton jälkeen ylijäävän kuitupuun osuus oli apteerausvaihtoehtoa 3 lukuun ottamatta korpikuusikoissa 0,5–1,5 %-yksikköä suurempi kuin kivennäismaiden luonnonkuusikoissa. Apteerattaessa vaneritukkeja kuitupuun osuus oli korpikuusikoissa 0,5–1,5 %-yksikköä pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa.

Kuusirungon käyttöosan bruttoarvo tilavuusyksikköä kohti oli perinteisen sahaustavan ns. bulkkisahauksen periaatteiden mukaan laskettuna korpikuusikoissa 0,7–2,7 % pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa. Erot olivat pienimmät vaneritukin sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa: järeiden tyvi- ja välitukkien hakkuu vaneripuuksi pienensi suhteellisesti vähiten korpikuusikoiden runkojen tuottoja. Tämä toisaalta vahvistaa käsitystä korpikuusten tyviosan alhaisemmasta arvosta kivennäismaihin verrattuna. Lylypuun huomioon ottaminen sahaustavaran laatuluokituksessa ja hinnoittelussa pienensi korpikuusten eroa suhteessa kivennäismaiden luontaisiin kuusiin mutta suurensi eroa suhteessa kivennäismaiden istutuskuusiin. Tällä perusteella lylypuu olisi korpikuusikoissa sahaustuksen kannalta jopa pienempi laatuongelma kuin kivennäismaiden luonnonsyntyisissä kuusikoissa mutta joka tapauksessa suurempi laatuongelma kuin istutuskuusikoissa.

Kuusen tukki- ja pikkutukkiosan bruttoarvo tilavuusyksikköä kohti oli korpikuusikoissa yhden tukki- ja pikkutukkimituuden sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa 1 0,2–2,8 % pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa. Apteerausvaihtoehdoissa 2 ja 3 ero oli kuitenkin päinvastainen, 0,2–5,0 %. Lylypuun huomioon ottaminen vaikutti samansuuntaisesti kuin rungon käyttöosan bruttoyksikköarvoon.

4 Johtopäätöksiä

Ennakoarviot korpikuusten laadusta näkyivät tuloksissa varsin hyvin joskin vaikutuksiltaan useimpien puutavaran ja puuaineen laatutekijöiden osalta oletettua pienempinä. Hakkuukertymän, sen puutavaralajirakenteen ja perusjalostuksen tuotesaannon kannalta olennaiset rungon järeys ja tukkiosan koko ja dimensiot olivat suhteellisesti haittapuolia, mutta merkitseviä runkomuotoeroja ei kapenemisen osalta ei havaittu. Suurimmat laatuerot olivat yleensä tyvitukkiosassa, varsinkin vuosiluston leveyden ja puuaineen tiheyden suhteen eduksi ja lylypuun esiintymisen ja osuuden suhteen haitaksi. Oksikkuuserot olivat varsin pienet, joskin korpikuusissa tyvitukkiosan yläpuolinen rungonosa oli verraten kuivaoksainen.

Turvemaiden kuusitukin voidaan päätellä olevan varsin hyvää rakennuspuuta ilmeisen hyvien puuaineen mekaanisten ominaisuuksien ansiosta, sekä rakennesahataravaksi, moniin rakennuspuusepänteollisuuden tuotteisiin (liimapuu, aihiot, tuoteosat) että vaneriin ja kertopuuhun. Huonekalu- ja puusepänteollisuuden sahaajat ovat käytännössä karttaneet korpikuusikoita arvellun ja usein myös kohdatun kuivaoksaisuuden, lylyn ja pihkataskujen vuoksi. Nämä viat toisaalta vaikeuttavat kuivausta ja työstöä ja aiheuttavat tuotteisiin kaupallista arvoa alentavia tai hylkäykseen johtavia laatuviakoja. Erityisesti kuivausta on pidetty ongelmallisena korpikuusella. Vaikka kiekkonäytemittausten perusteella korpikuusissa esiintyi enemmän ja laajemmin kuivausvikoja aiheuttavaa lylypuuta kuin kivennäismaiden kuusissa, lylypuun huomioon ottaminen saheiden laatuluokituksessa alensi suhteellisesti vähiten korpikuusten sahattavan osan yksikköarvoa tässä tutkimuksessa.

Samassa sahatavarakappaleessa ojitusvaikutuksen seurauksena joskus äkillisesti kasvanut vuosiluston leveys voi aiheuttaa halkeilua ja lohkeilua kuivauksessa ja työstössä. On mahdollista, että tämä ilmiö esiintyy kuusella männyn tavoin; esim. hirsitaloteollisuudessa on havaittu tällaista lohkeilua arveltuna synyn tehokas kertalannoitus tai poikkeuksellisen voimakas harvennusreaktio.

Korpikuusen sisäiseen terveoksaaisuuteen ja täten huonekalu- ja puusepänteollisuudessa haluttujen terveoksaisten sahatavaraalaatujen saatavuuteen voidaan ottaa kantaa vasta simuloitujen tai empiiristen sahetutkimusten perusteella, koska kuusen sisä- ja ulko-oksikkuuden yhteys ei ole kovin selvä. Tämä myös vaikeuttaa oksikuuslaadun päättelemistä leimikon tai rungon ulkoisten tunnusten perusteella, joten kuusitukkileimikon ennakkomittauksen hyötyihin voidaan tältä kannalta suhtautua varauksella. Huomionarvoista on, että kuusella on latvusrajan perusteella päätelty ns. terveoksaisten osan sisällä paljon erikokoisia kuolleita oksia, mikä edelleen vaikeuttaa ulkoista laatuarviointia, varsinkin tuote- ja asiakaslähtöisestä näkökulmasta. Näiden seikkojen kuten myös edellisessä kappaleessa mainittujen puutavaran ja puuaineen ominaisuuksien käytännöllisten vaikutusten arvioimiseksi tarvitaan myös jalostus- ja käyttökokeita.

Tässä tutkimuksessa oli aineistona ulkoisesti silmävaraisesti normaalin suorja ja lahoittomia puita. Rungon mutkaisuuden, lenkouden ja muiden suoruspöikkeamien eroja ei siis voida luotettavasti päätellä. Oletettavaa on, että tyvimutkaisuus ja siihen liittyvät soikeus, lyly, ytimen epäkeskisyys ja vino- ja poikkisyys ovat turvemaidella

pehmeän kasvualustan vuoksi laatuongelma myös kuusella, männyn ja koivun tavoin. Nykyistä lyhyempinä tukkeina sahaaminen pienentäisi ilmeisesti haittavaikutuksia sahatavaran saantoon ja laatuun.

Lahoisuuden voitaisiin periaatteessa päätellä olevan korpikuusissa verraten yleistä niiden korkean iän vuoksi. Tätä hypoteesia tukevat joskus esitetyt arviot kasvupohjan happamuuden ja lahon esiintymisen yhteydestä. Toisaalta kuusen tyvilahoa aiheuttavan maannousemasiinen on arveltu olevan turvemailloja harvinaisempaa kuin kivennäismailloja eivätkä käytännön havainnotkaan korpikuusen tyvilahosta ole olleet mitenkään hälyttäviä.

Kirjallisuus

- Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(3): 165-178.
- Eeronheimo, O. 1985. Suometsien hakkuumahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 188. 23 s.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(5): 1-98.
- Hakkila, P. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(6): 1-60.
- Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 33(3):1-66.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-1978 metsäojitetut suot: Ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Kerkelä, M. 1997. Jakauma- ja arvoapteerauksen vaikutus leimikon tukkisaantoon, hakkuukoneen tuottavuuteen ja tukkien laatuun ja keskipituuteen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiivistelmä metsäteknologian ja puutalouden pro gradu työstä. 33 s. + liitteet.
- Kärkkäinen, M. 1976. Havutukkien painomittauksen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 89(1): 1-59.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. Sotkamo. 415 s.
- Kärkkäinen, M. 1986a. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. *Silva Fennica* 20(2): 107-116.
- Kärkkäinen, M. 1986b. Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteet. *Silva Fennica* 20(2): 117-127.
- Kärkkäinen, M. & Raivonen, M. 1977. Reaktiipuun mekaaninen lujuus. *Silva Fennica* 11(2): 87-96.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splini-funktiolla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 95(8): 1-63.
- Nordic Timber Grading Rules. 1994. Föreningen Svenska Sågverksmän, Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys, Treindustriens Tekniska Forening. Stockholm, Helsinki, Oslo. 64 s.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salmiinen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131-153.

- Ollinmaa, P.J. 1959. Reaktiopuutkimuksia. *Acta Forestalia Fennica* 72(1): 1-53.
- Ollinmaa, P.J. 1960. Eräistä ojitetuilla soilla kasvavan puun fysikaalisista ominaisuuksista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(2): 1-24.
- Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988. Suomen suometsät vuosina 1951-1988. *Folia Forestalia* 714. 29 s.
- Rieppo, K. & Marjomaa, J. 1992. Apteerauksen taso ja apteerausvirheiden syyt havutukkien hakkuissa. *Metsätehon tiedotus* 408. 28 s.
- Sipi, M. 1997. Suopuustojen laatu ja raaka-aineen soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. Hankesuunnitelma Wood Wisdom Metsäalan tutkimusohjelmaan. 4 s.
- Sirén, G. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimailla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(32): 1-36.
- Tolkki, P. & Saramäki, J. 1997. Esitutkimus kuusitukin erilaisten mittavaatimusten vaikutuksesta tukin saantoon. Pohjois-Karjalan metsänhoitoyhdistysten liitto ry. Moniste. 11 s.
- Verkasalo, E., Boren, H. & Saranpää, P. 1998. Ojitettujen turvemaiden puutavaran laatu ja arvo tuotelähtöisessä metsäteollisuudessa. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema. Hankesuunnitelma. 8 s.

Kuusirunkojen ja -tukkien arvon riippuvuus metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista sekä runkojen ja niistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa

Erkki Verkasalo¹, Pentti Sairanen² ja Peter Melén³

¹Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

²Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

³Yrkeshögskolan Sydväst, Ekenäs

I Johdanto

Kuusi on ohittanut sahausmäärissä männyn jo 1990-luvun alussa Suomessa. Tämä on tapahtunut sekä perinteisen läpimitaltaan vähintään 16 cm:n normaalitukin että 12–16 cm:n pikkutukin sahausta kasvattamalla. Kuusitukin käyttö sahateollisuudessa on kehittynyt eri suhdannevaiheiden kautta siten, että se oli vuonna 1980 9,9 milj. m³ (korkeasuhdanne), vuonna 1985 7,0 milj. m³ (taantuma), vuonna 1990 8,6 milj. m³ (vielä korkeasuhdannetta), vuonna 1991 7,3 milj. m³ (taantumien aallonpohja), vuonna 1994 12,2 milj. m³ (edellinen suhdannehuippu) ja vuonna 2000 14,8 milj. m³ (kuusen käytön ennätys) (Peltola 2001).

Lisäksi vaneriteollisuudesta on tullut merkittävä järeän kuusen käyttäjä 1990-luvulla, jona aikana kuusivaneritukin käyttö on kolminkertaistunut vuoden 1991 tasolta 0,5 milj. m³ vuoden 2000 tasolle 1,7 milj. m³ (Peltola 2001). Paperiteollisuus on myös kasvattanut samanaikaisesti tuotantoaan. Tämä on omalta osaltaan lisännyt kuusen käyttöä sekä hiokkeena ja hierteenä. Tässä muodossa käytettynä kuusi on pääasiallinen puumassalaji useissa paperilaaduissa. Kuusen käyttö sulfaattiselluloosana on myös kasvanut, jossa muodossa se on tarvittavaa lujuutta tuovana armeerausmassana muuten lähinnä hyvään painatusjälkeen, keveyteen ja kustannustehokkuuteen perustuvissa paperi- ja kartonkilaaduissa. Mekaanisen ja kemiallisen puumassateollisuuden kuusen käyttö on kasvanut vuodesta 1991 määristä 7,6 milj. m³ ja 1,6 milj. m³ vuoden 2000 määriin 8,9 milj. m³ ja 2,4 milj. m³ (Peltola 2001).

Tapahtunut ja odotettavissa oleva kehitys asettavat metsäteollisuuden kuusihuololle uusia vaatimuksia. Järeydeltään, laadultaan ja korjuu-, kuljetus-, varastointi- ja käyttölogistiikaltaan erilaisen kuusiraaka-aineen ohjaus oikeaan tuotantomuotoon ja

eri tehtaille on tullut olennaiseksi tekijäksi puunhankinnassa. Operatiivista toimintaa ohjaavana tekijänä ovat luonnollisesti eri tehtaiden raaka-ainetarpeet, jotka määräytyvät tuotteiden kysynnän ja valmistuksen kannattavuuden pohjalta.

Pääpuulajiemme käytön historia huomioon ottaen on ymmärrettävää, että kuusen asema suomalaisessa puuntutkimuksessa on ollut toissijainen männyn ja koivun rinnalla sekä puun laatukasvatuksen että teollisen käytön tietotarpeiden kannalta katsoen. Tämä on näkynyt tutkimusten kohdentamisessa ja resurssoinnissa sekä julkaisutoiminnan laajuudessa koskien sekä perustutkimusta että soveltavaa tutkimusta. On ajateltu, että puun tekninen laatu ja puuraaka-aineen laatu käytössä eivät kuusella vaihteleyhtä suuressa määrin kuin männyllä ja koivulla eikä kuusen laatuvaihtelua voida myöskään hallita metsikön, rungon ja tukin ulkoisesti tunnistettavien ominaisuuksien perusteella.

Kuusta on myös pidetty suhteellisen epäkiitollisena puulajina luontaisen laadun kaupallisessa hyödyntämisessä, koska kuusen mekaanisten tuotteiden käyttökohdevalikoima on painottunut hyvin voimakkaasti erilaisiin rakentamisen käyttökohteisiin ja mm. kuusisahatavaran perinteisten kaupallisten laatuluokkien hintaerot ovat olleet verraten pienet. Männyllä olennainen oksattoman sahatavaran saanto on myös todettu sekä tutkimuksissa että käytännössä hyvin pieneksi suomalaisella kuusella, mikä on omalta osaltaan vähentänyt kiinnostusta kuusen laatuksymyksiin. Kuusen käytön ohjauksessa kuten myös meillä vielä tuntemattomassa kuusen laatukasvatuksessa oksaisuus huomioon ottaen onkin olennaisinta erottaa terveoksiset rungon osat kuollutoksisista.

Suomalaisen kuusen laatuominaisuuksista on aiemmin tutkittu yleisellä tasolla ja samalla mekaanisen puunjalostuksen käyttöä ajatellen runsaasti oksikkuutta (mm. Wegelius 1939, Hakkila 1968, Asikainen & Heiskanen 1970, Hakkila ym. 1972, Kärkkäinen 1972a, 1986a,b, Laasasenaho 1975, Lehtonen 1978, Verkasalo & Leban 1996, Uusvaara 1997, ks. myös Kärkkäinen 1985a,b) sekä tukkipuukertymiä ja kuusisahatavaran laatua ja arvoa (mm. Siimes 1960, Heiskanen 1968, 1976, 1977, Heiskanen & Asikainen 1969, Hakkila & Rikkonen 1970, Rikkonen 1970, Asikainen & Heiskanen 1970, Kärkkäinen 1986a,b, Rieppo & Marjomaa 1992, Pennanen & Yli-Hukkala 1994, Ahonen & Mäkelä 1995, Kerkelä 1997, Tolkki & Saramäki 1997, Warensjö 2001, ks. myös Kärkkäinen 1985a,b). Kuusen lahoisuutta ovat tarkastelleet Hakkila & Laiho (1967), Kallio (1972), Kallio & Norokorpi (1972), Kallio & Tamminen (1974), Hyppönen & Norokorpi (1979) ja Tuimala (1979).

Suomalaisen kuusen puuaineen perusominaisuuksista on tutkittu viitteellisesti vuosiluston leveyttä ja puuaineen tiheyttä ja niiden vaihtelua (Sirén 1952, Ollinmaa 1960, Hakkila 1966, 1968, Hakkila & Uusvaara 1968, Hakkila & Rikkonen 1972, Saikku 1975, Velling 1976, 1980, Velling & Nepveu 1989, Saranpää 1994, 2000, Saranpää & Repola 2000, Bergstedt ym. 2001, ks. myös Kärkkäinen 1976, 1985a,b, 1986a,b). Kuusen sydänpuuta ja sen ominaisuuksia ovat tutkineet Hakkila (1968) ja Kärkkäinen (1972b, 1976, 1981). Kuusen reaktiipuuta eli lylyä ja sen ominaisuuksia on tutkittu varsin yleisellä tasolla (Ollinmaa 1959, Kärkkäinen & Raivonen 1977, ks. myös Kärkkäinen 1985a,b). Jossain määrin on tutkittu suomalaisen kuusen mekaanisia ominaisuuksia (mm. Jalava 1945, Kärkkäinen & Dumell 1983, Kärkkäinen & Hakala 1983, Saranpää 1983, 2000, Kärkkäinen ym. 1985, 2000, Verkasalo & Leban 1994,

vien välioksien rungon säteensuuntainen rakenne poikkeavat toisistaan.

6. Mitkä ovat hankinta-alueen ja kuusen kasvupaikan ja syntyvän vaikutukset oksikuussuhteisiin.
7. Onko oksikkuuden ja vuosiluston leveyden tai puuaineen tiheyden välillä havaittavissa yhteyksiä.

Lisäksi tarkasteltiin kuusen tärkeimpiä puuaineen ominaisuuksia eli vuosiluston leveyttä, puuaineen tiheyttä, ytimen epäkeskisyyttä, sydän- ja reaktiopuun osuutta ja nuorpuuta verrattuna normaalin aikuispuuhun (ks. tämän julkaisun muut artikkelit).

Tulosten käyttötarkoituksiksi ajateltiin potentiaalisesti seuraavia sovelluskohteita:

1. Kuusisahatavaran laadun ennustajat leimikkotasolla (rungot)
2. Kuusitukkirunkojen apteeraus
3. Kuusitukkien lajittelu- ja luokittelukriteerit
4. Kuusitukin ohjaus laadun perusteella erilaisiin loppukäyttötarkoituksiin
 - Ulkoisten tunnusten ennustearvo
 - Sahausasetteet
 - Sahatavaralaatujen arvoerot
5. Kuusitukkien laatuhinnoittelu
6. Kuusen laatukasvatus
7. Testiaineistoa kuusirunkojen ja -tukkien mahdollisille ennustemalleille (esim. MELA)
8. Runkopankki kuusitukkirunkojen ominaisuuksista, jota voidaan hyödyntää muissa tutkimuksissa

Tutkimuksille muodostettiin tukiryhmä, joka edusti laajasti kuusta mekaanisesti jalostavaa teollisuutta sekä metsätalouden ja -teollisuuden kehittämisorganisaatioita. Kaikki kolme suurta suomalaista metsäyhtiötä rahoittivat osaksi tutkimusaineistojen keruuta.

Tutkimuksista on syntynyt suuret määrät erilaisia tuloksia liittyen em. tavoitteisiin, joista tässä artikkelissa esitetään vain keskeisimpiä ja käytännöllisen soveltamisen kannalta kiintoisimpia. Tulokset ovat käyttökelpoisia paitsi saha- myös vaneriteollisuuden ja lisäksi kuusileimikoiden erilaisiin loppukäyttötarkoituksiin ohjauksen ja runkojen apteerauksen kannalta. Täydentäviä tuloksia on tämän julkaisun artikkeleissa Oksikkuuden ennustaminen ja mallit ja Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot. Muita tuloksia on esitelty ja esitellään tieteellisissä julkaisusarjoissa ja kansainvälisissä tutkimuskongresseissa.

3 Tutkimusaineistot ja menetelmät

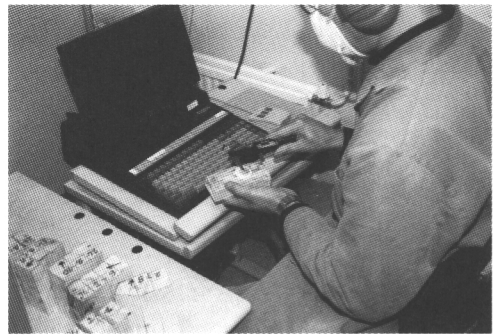
Tutkimusaineisto käsittää yhteensä 240 kuusen kaatokoepuuta 48 kuusivaltaisesta metsiköstä, joista on kolmannes luontaisesti syntyneitä MT-OMT-kivennäismaiden kuusikoita, kolmannes istutettuja MT-OMT-kivennäismaiden kuusikoita ja kolmannes luontaisesti syntyneitä korpikuusikoita. Alueellisesti aineisto on peräisin neljältä

alueelta maan eteläosasta, joilla kasvuedellytykset ovat erilaisia lämpösunnan, ilmaston mereisyyden/mantereisuuden ja maanpinnan korkeuden mukaan: 1) Etelä-Suomi, sisämaa, 2) Etelä-Suomi, rannikko, 3) Suomenselkä, 4) Savo. Aineisto koostuu normaalin säännöllisen metsänhoidon periaatteilla käsitellyistä talousmetsiköistä eri metsänomistajien mailta.

Aineistoon valittiin vain tukkipuukokoisia (rinnankorkeusläpimitta 18–50 cm) ja ulkoisen arvion perusteella sahauskelpoisia runkoja; erityisesti hylättiin runkomuotovikaiset ja ilmeisen lahoiset rungot. Tutkimusaineiston jakauma ja sen tärkeimpiä ominaisuuksia on kuvattu tämän julkaisun artikkeleissa Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu ja Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.

Koepuista tehtiin metsässä yksityiskohtaiset pysty- ja kaatokoepuumittaukset ja laboratoriossa analysoitiin erilaisia puuaineen ominaisuuksia kiekkoista ja oksien ominaisuuksia kiehkuranäytteistä (kuva 1). Mittausten perusteella laadittiin geometriset runkokäyrät splini-funktiolla (Lahtinen & Laasasenaho 1997) ja muodostettiin runkoihin mallintamalla sisärakenne oksien, lylypuun ja pinta-/sydänpuun osalta. Tällä tavalla teoreettisesti muodostetut rungot apteerattiin tietokonelaskentana kuudella eri vaihtoehdolla, joista kolme ensimmäistä perustuu erilaisiin puutavaralajitarpeisiin ja kolme viimeistä mahdolliseen apteeraukseen ulkoisen oksikkuuden perusteella suhteessa latvusrajaan. Tutkimusten näiden vaiheiden menetelmät on kuvattu tarkemmin tämän julkaisun artikkeleissa Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu ja Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.

Tukkien ja pikkutukkien kappalemäärät ja keskitilavuus apteeraustavoittain on esitetty taulukossa 1. Sahattavia tukkeja syntyi rungoista apteeraustavasta riippuen 660–761 kpl, joiden keskitilavuus oli vastaavasti 160–220 dm³. Sahattavien tukkien suma painottui eniten normaalitukkeihin ja tukkien keskikoko oli suurin tavanomaisena pidettävässä apteeraustavassa 2, jossa pikkutukkien osuus oli vastaavasti pieni. Vain yhteen normaalitukkien ja pikkutukkien pituusvaihtoehtoon perustuvassa ap-



Kuva 1. Kuusirungon muoto paljastuu kenttätutkimuksissa vasta karsinnan jälkeen (kuva vasemmalla). Oksien sisärakenteen mittausta laboratoriotöinä (kuva oikealla).

Taulukko 1. Kuusitukkirunkojen simuloidussa apteerauksessa saatujen normaali- ja pikkutukkien kappalemäärät ja keskidimensiot apteeraustavoittain. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitetujen korpjen ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

	Apteeraustapa					
	1	2	3	4	5	6
Normaalitukit						
Kpl	611	641	480	620	624	631
Keskitilavuus, dm ³	235,7	225,8	176,8	232,6	231,7	229,6
Pikkutukit						
Kpl	150	26	280	69	75	63
Keskitilavuus, dm ³	106,2	85,2	131,9	94,2	93,0	93,5
Kaikki sahatukit						
Kpl	761	667	760	689	699	694
Keskitilavuus, dm ³	210,2	220,3	160,3	218,7	216,8	217,2

teeraustavassa 1 normaalitukkeja syntyi lähes yhtä paljon mutta pikkutukkeja moninkertaisesti apteeraustapaan 2 verrattuna, mistä syystä sahattavat tukit olivat myös keskimäärin 10 dm³ pienempiä. Apteeraustavassa 3 eroteltiin vaneritukiksi kelvolliset rungonosat sahattavasta sumasta, joten normaalitukkien osuus oli tässä pienin mutta pikkutukkien osuus vastaavasti suurin ja sahattavan tukin keskikoko selvästi pienin, 60 dm³ pienempi kuin apteeraustavassa 2.

Kullakin apteerausvaihtoehdolla saaduille normaali- ja pikkutukeille tehtiin sahauskeskiarvojen simulointi Metlassa tutkimusta varten kehitetyllä simulointiohjelmalla edelleen teoreettisesti. Sahaussuunta valittiin satunnaislukugeneraattorilla sillä rajoituksella, että kunkin tukin latvan soikeus otettiin huomioon. Simuloinnit tehtiin sekä perinteisen sahaustavan mukaisesti sahatuottoisesti eli ns. bulkkisahauskella, jossa pyritään maksimoimaan saantoa, että erikoistuvan tuotelähtöisen sahaustavan mukaisesti, jossa pyritään saamaan erityisesti terveksaisia, täyssärmäisiä ja tietyistä tukkiluokista lisäksi ydinvapaita laatuja.

Periaatteena oli, että molemmilla sahaustavoilla sahataan täsmälleen samat tukit, jolloin oletettiin tukkien läpimitta- ja pituusjakaumat samoiksi. Näin ei välttämättä ole käytännössä, vaan asiakas- ja tuotekohtaisesti erikoistuva sahaus saattaa vaatia tuote- ja asiakaskohtaisesti varioitavia tukkimittoja.

Simuloinnin tuloksena saadut saheet laatuoluokitteltiin tietokonelaskentana teoreettisesti sekä pohjoismaisten NT-lajittelunormien (perinteinen sahaus, Nordic Timber ... 1994) että tuotelähtöisten lajittelunormien mukaan (erikoistuva sahaus, suulliset tiedot eräältä tutkimusta konsultoineelta sahalta). Saheiden luokittelussa voitiin ottaa huomioon dimensiot, oksikkuus ja vajaan särmäisyys, sen lisäksi tarkasteltiin rinnalla vaihtoehtoa, jossa myös reaktiopuu (lyly) otettiin huomioon.

Saheet hinnoiteltiin kuusisahatavaran laatuoluokittaisten vuosien 1994 ja 1995 keskihintojen keskiarvon perusteella (FOB eli veroton myyntihinta, sis. vakuutus- ja rahtikustannukset Suomen rajalle). Vuosi 1994 edusti korkean ja vuosi 1995 matalan vientihintatason vuotta kuusisahatavaran (esim. Peltola 2001). Sahausten asetetie-

dot, tuotelähtöiset laatuluokitusohjeet ja laatuluokittaiset hintataulukot hankittiin perinteiseen ja erikoistuvaan sahaukseen kahdelta tutkimusta konsultoineelta sahalta. Rungoille ja tukeille laskettiin teoreettiset bruttoarvot summaamalla saheiden em. tavalla saadut vientihinnat, puumassateollisuudelle menevän sahanhakkeen ja -purun myyntihinnat (hinta paperitehtaalla) ja kuitupuun ja sorvitukin myyntihinnat (hinta paperi- tai vaneritehtaalla).

Kuusitukkirunkojen ja tukkien arvon riippuvuutta metsikön rungon ja tukin ominaisuuksista tarkasteltiin korrelaatio-, regressio- ja kovarianssianalyyseillä, metsikön satunnaisvaikutuksen erottelemiseksi lineaarisella sekamallitekniikalla sekä havainnollistettiin ristiintaulukoinnilla ja grafiikalla. Rungon ja tukin tilavuusyksikköä kohti lasketun bruttoarvon selittäjiksi valittiin alustavien analyysien ja tutkimuksen tehtävänasettelun perusteella hankinta-alue ja metsikkötyyppi (kivennäismaa/turvemaa, syntytyyppi), rungon rinnankorkeusläpimitta ja elävän latvuksen alaraja ja viiden metrin tyviosan runkokäyrällä kiekkonäytemittauksista painotettu puuaineen keskimääräinen vuosiluston leveys ja kuiva-tuoretiheys. Muitakin selittäjiä kokeiltiin alustavissa analyyseissä, mm. puun ikää ja rungon kapenemista, mutta näillä oli haitallista keskinäisriippuvuutta muiden niitä merkitsevämpien tekijöiden kanssa.

3 Tutkimusten keskeisiä tuloksia ja niiden tarkastelua

3.1 Kuusen sisäoksien koon ja laadun ennustaminen

Sisäoksat muodostettiin kuusirunkoihin erikseen laadituilla usean selittävän muuttujan regressiomalleilla. Näillä ennustettiin kuolleiden ja terveiden oksien läpimitat ja kuolleille oksille lisäksi terveen ja kuolleen oksanosan rajakohtat aineiston keruussa määritettyjen metsikkö- ja runkotason tekijöiden perusteella. Lähtöaineistona olivat oksakiehkuroiden sisärakenteesta tehdyt laboratoriomittaukset (ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot). Analyysien tuloksena päädyttiin käyttämään seuraavia ennustemalleja:

$$Y_1 = 0,270 + 1,119 X_1 + 0,4053 X_1^2 - 0,7347 X_1^3 - 0,1945 X_2 \quad (1)$$

$$N = 4218, R^2 = 0,74, S_E = 0,139$$

Missä:

- Y_1 = Oksan suhteellinen läpimitta verrattuna läpimittaan kuorettomassa vaippapinnassa.
- X_1 = Terveillä oksilla: tarkastelukohdan suhteellinen etäisyys säteen suunnassa kuorettomasta vaippapinnasta verrattuna kuorettomaan säteeseen.
Kuolleilla oksilla: tarkastelukohdan suhteellinen etäisyys kuolleen ja terveen oksan osan rajakohtasta verrattuna etäisyyteen ytimestä rajakohtaan.
- X_2 = Oksan suhteellinen korkeusasema rungossa verrattuna rungon pituuteen kaatokorkeudelta ylöspäin.

$$Y_2 = 0,5188 - 0,5479 X_1 + 0,001373 X_1^{-1} - 8,0212 \cdot 10^{-6} X_1^{-2} + 5,293 \cdot 10^{-9} X_1^{-3} - 0,01165 X_2 + 0,7879 X_2^{-1} - 0,5353 X_2^{-2} \quad (2)$$

$N = 2320, R^2 = 0,54, S_E = 0,133$

Missä:

Y_2 = Kuolleen oksan terveen ja kuolleen oksanosan rajakohdan suhteellinen etäisyys kuorettomasta vaippapinnasta verrattuna kuorettomaan säteeseen.

X_1 = Kuolleen oksan suhteellinen korkeusasema rungossa verrattuna rungon pituuteen kaatokorkeudelta ylöspäin.

X_2 = Kuolleen oksan läpimitta kuorettomassa vaippapinnassa, mm

3.2 Kuusitukkirungon ja -tukkiosan arvoon vaikuttavat tekijät

Kuusirunkojen ja -tukkien arvon riippuvuutta metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista tutkittiin monipuolisesti. Esimerkkinä tuloksista esitetään tässä kuusitukkirungon ja sen tukkiosan bruttoyksikköarvon riippuvuussuhteet luvun 2 viimeisessä kappaleessa mainituista tekijöistä tarkastellen apteeraustapaa 2, jossa rungosta katkottiin 4,3–5,8 metrin normaalisahatukkeja (kuorellinen minimiläpimitta 16 cm), 4,3 metrin pikkutukkeja (minimiläpimitta 12 cm) ja ns. vapaapituista kuitupuuta (minimipituus 3,0 m, minimiläpimitta 7 cm). Sahaustapa oli tässä perinteinen sahatuottoinen.

Tuloksia analysoitiin aluksi lineaarisella sekamallitekniikalla, jossa oli tarkoituksena määrittää, oliko tarkasteltaviksi otettujen selittävien tekijöiden lisäksi vielä joillakin muilla tunnistamattomilla metsikön ominaisuuksilla merkitseviä vaikutuksia rungon tai sen tukkiosan yksikköarvoon (taulukko 2). Tunnistamattomia ominaisuuksia kokonaisuutena kuvaavan koeala-muuttujan vaikutuksen merkitsevyytensä oli 0,07–0,14, josta vaikutus voidaan päätellä suuntaa antavaksi mutta ei merkitseväksi (riskitaso 5 %).

Tämän jälkeen tehtiin kovarianssianalyysit samojen arvotunnusten selittämiseksi (taulukko 2). Kuten luvussa 2 kerrottiin, tutkimusta aloitettaessa oletettiin kuusen laadun ja arvon sahapuuna riippuvan lähinnä järeydestä, oksikkuudesta ja kapenemisesta. Rungon arvo kuutiometriä kohti kohosikin selvästi rungon läpimitan ja vähemmän selvästi alimman elävän oksan korkeuden kohotessa, nämä olivat selvästi tärkeimmät arvon vaihtelun lähteet. Lisäksi Suomenselän alueen kuusten arvo oli alhaisempi kuin muiden alueiden kuusten ja kuusen arvo kohosi tyvitukin puuaineen tiheyden kasvaessa. Rungon yksikköarvon vaihtelusta pystyttiin kovarianssianalyysillä selittämään kuitenkin vain noin puolet, loppu jäännöshajonta oli noin 50 mk/m³.

Tukkiosan arvo riippui samalla tavalla rungon läpimitasta ja alimman elävän oksan korkeudesta kuin rungon arvo. Lisäksi tukkiosan arvo oli muita alueita korkeampi Savossa ja alhaisempi Suomenselällä ja korpimailla alhaisempi kuin kivennäismailla. Tukkiosan arvon vaihtelusta pystyttiin selittämään vain kolmannes, loppu jäännöshajonta oli 40–55 mk/m³.

Tyvitukin puuaineen tiheyden kasvu ja, mikäli lylypuu otettiin laatuluokituksessa huomioon myös vuosiluston leveyden aleneminen kohottivat sekä rungon että tukkiosan yksikköarvoa. Huomionarvoista on, että lylypuun huomioon ottaminen sahata-

Taulukko 2. Kuusitukkirungon ja sen tukkiosan yksikköarvon (mk/m^3) riippuvuus metsikkö-, runko- ja tukkitason muuttujista lineaarisen sekamallianalyysin ja kovarianssianalyysin mukaan, perinteinen sahaustapa. [Apteeraustapa 2: 4,3–5,8 metrin normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm), 4,3 metrin pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm) ja kuitupuu (minimipituus 3,0 m, minimiläpimitta 7 cm). Arvokoodit: 1 = lylypuun esiintyminen sivuutettu sahatavaran laatu- luokituksessa, 2 = lylypuun vaikutus otettu huomioon sahatavaran laatu- luokituksessa.]

Selittävä muuttuja	Rungon arvo 1	Rungon arvo 2	Tukkiosan arvo 1	Tukkiosan arvo 2
	p-arvo			
Lineaarinen sekamallianalyysi				
Koela	0,0707	0,0691	0,0954	0,1426
Alue	0,4370	0,5354	0,2455	0,6587
Metsikkötyyppi	0,5389	0,2132	0,0710	0,0002
Rinnankorkeusläpimitta	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
Elävän latvuksen alaraja	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Tyvitukkiosan vuosiluston leveys	0,8623	0,0691	0,7338	0,0196
Tyvitukkiosan kuiva- tuoretiheys	0,0462	0,0691	0,0004	0,0391
Kovarianssianalyysi				
Alue	0,0852	0,5354	0,2455	0,6587
Metsikkötyyppi	0,3721	0,2132	0,0710	0,0002
Rinnankorkeusläpimitta	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
Elävän latvuksen alaraja	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Tyvitukkiosan vuosiluston leveys	0,9615	0,0691	0,7338	0,0196
Tyvitukkiosan kuiva- tuoretiheys	0,0615	0,0691	0,0004	0,0391
Selitysaste (R^2)	0,532	0,496	0,358	0,326
Jäännöshajonta (RMSE)	49,6	56,4	38,4	53,7
Keskiarvo, mk/m^3	553,4	504,6	608,8	550,8

varan laatu- luokituksessa alensi keskimäärin rungon yksikköarvoa $49 \text{ mk}/\text{m}^3$ ja tukki- osan yksikköarvoa $58 \text{ mk}/\text{m}^3$, kummassakin tapauksessa noin 9 %.

Kuusella sisäisen laadun ja arvon ennustaminen on tunnetusti epätarkempaa kuin männyllä. Tässäkään tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella ei voida perustella kuusitukkirunkojen laatu- katkontaa runkojen ulkoisen oksikkuuden perusteella. Kuusen järeyden ja oksikkuusrajoiden korreloitumisen vuoksi on epävarmaa, voidaanko latvusrajaa käyttää apuvälineenä sisäisesti terve- ja kuollutoksaisen osan erottami- seen toisistaan. Sahojen tilauksiin suhteuttaen mutta kuitenkin sahauskelpoisen osan mahdollisimman täysimääräiseen hyödyntämiseen tähdäten määräpituuksien ja -pak- suuksien hyödyntäminen sahatukki- apteerauksessa sopii tältäkin pohjalta kuusel- le.

3.3 Kuusen perinteisen ja erikoistuvan sahauksen tuotot

3.3.1 Tukkien käyttösuhde

Kuusitukkien sahauksen käyttösuhde oli koko tukkisuman perinteisen ja erikoistuvan sahauksen simuloinnissa seuraava rungon eri apteeraustavoilla:

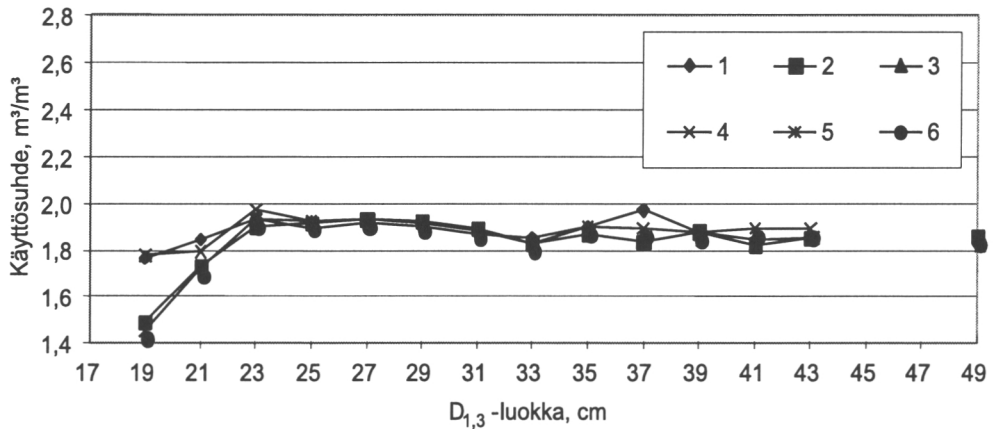
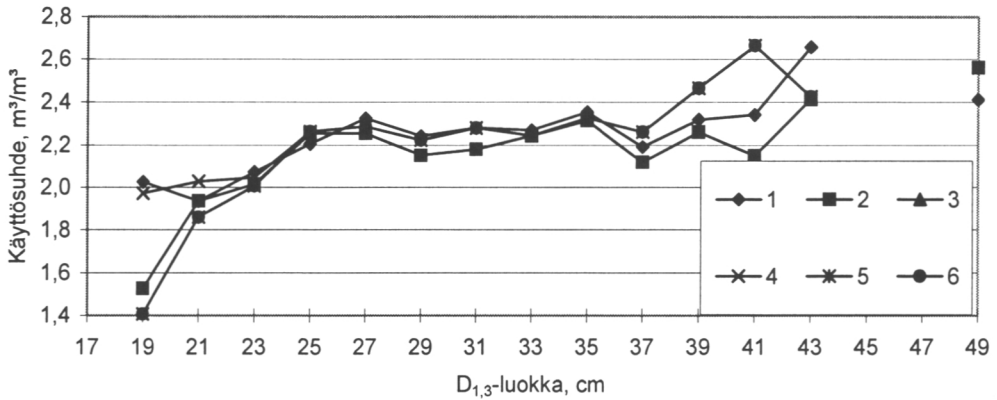
Apteeraustapa	Perinteinen sahaus Kuusitukkien käyttösuhde	Erikoistuva sahaus
1	2,093	1,983
2	1,912	1,800
3	2,699	2,558
4	1,974	1,858
5	1,981	1,864
6	1,960	1,843

Käyttösuhde oli siis erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavasta riippumatta noin $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ alhaisempi (parempi) kuin perinteisessä sahauksessa. Tulos johtuu ilmeisesti sahatavaran talteen ottamisen ehdottomasta ensisijaisuudesta ja sahan sivutuotteiden (hake ja puru) tuottamisen toissijaisuudesta tutkimusta konsultoineella, erikoistuvaa sahausta edustaneella sahalla (itsenäinen sahayritys) verrattuna perinteistä sahausta edustaneeseen sahaan (integraattiyrityksen saha).

Käyttösuhde oli alhaisin tavanomaisessa apteeraustavassa 2, jossa rungosta katkottiin 4,3–5,8 metrin normaalitukkeja, 4,3 metrin pikkutukkeja ja vähintään 3 metrin kuitupuuta, ja selvästi korkein apteeraustavassa 3, jossa rungosta eroteltiin vaneritukkikelpoiset osat tukkisuman ulkopuolelle. Myös vain yhteen normaalitukin (5,5 m) ja pikkutukin (4,3 m) pituuteen perustuva apteeraustapa 1 johti keskimääräistä korkeampaan käyttösuhteeseen.

Kuusitukkien sahauksen käyttösuhteet ovat nykyaikaisilla teollisilla sahoilla yleensä tasolla 2,1–2,3. Tässä tutkimuksessa käyttösuhteet olivat tavanomaista noin $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ alhaisempia (parempia), lukuun ottamatta apteeraustapaa 3. Tämä johtui osittain aineiston valinnasta eli huonomuotoisten, ulkoisten tunnusmerkkien perusteella lahoisten ja muutenkin vikaisten tukkirunkojen karsimisesta aineistosta.

Kuvassa 2 on esitetty tulokset kuusitukkirunkojen eri rinnankorkeusläpimittaluokista saatujen tukkien käyttösuhteesta apteeraustavoittain perinteisen ja erikoistuvan sahauksen simuloinnissa. Perinteisessä sahauksessa käyttösuhde kohosi varsin selvästi runkojen järetyessä, vaikka oletusten mukaan vaikutus olisi pikemminkin päinvastainen. Tässä käytetyillä sahausaseteilla ei kuitenkaan otettu talteen lähellekään kaikkea mahdollista sivu- ja pintalautaa, mikä selittää tuloksen ainakin osittain. Myöskään erikoistuvassa sahauksessa ei ilmennyt läpimittaluokan oletettua käyttösuhdetta alentavaa vaikutusta, lukuun ottamatta lievää alenemista läpimittaluokkien 23 ja 33 cm välillä. Erikoistuvan sahauksen tavanomaisesta poikkeavat, ns. kermankuorintaan tähtäävät sahausasetteet keskittyivät järeisiin tukkiluokkiin, joka osittain selitti tuloksen.



Kuva 2. Kuusitukkien sahauksen simuloitu käyttösuhte rungon rinnankorkeusläpimittaluokittain ja apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sahauksessa (alakuva). (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

Erot runkojen apteeraustapojen välillä olivat perinteisessä sahauksessa pienet läpimittaluokittaisessa tarkastelussa. Poikkeuksena olivat alle 22 cm:n rungot, joilla oli nähtävissä apteeraustavan 1 mukaisten tukin harvojen määräpituuksien käyttösuhdetta kohottava vaikutus. Erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavan vaikutus oli suurempi kuin perinteisessä sahauksessa: käyttösuhte oli kauttaaltaan heikoin e.m. harvoilla tukkipituuksilla ja paras apteeraustavalla 2 eli 4,3–5,8 m:n normaalitukkeja ja 4,3 m:n pikkutukkeja apteeraattaessa.

3.3.2 Sahatavaran laatujauma

Sahatavaran oksaisuus on kuusella männyn tavoin keskeisiä laatutekijöitä; molemmilla puulajeilla kauppalaatu on määräytynyt 80–90 prosentissa sahatavarakappaleista oksaisuuden perusteella 1960–1980-luvuilla tehdyissä tutkimuksissa. Terveksaista sahatavaraa saadaan pätehtakkuiden kuusesta ennen kaikkea rungon välitukkiosan sisä- ja keskikerroksista ja latvatukkiosasta periaatteessa koko säteen-

Taulukko 3. Vain terveitä oksia sisältäneen, kuolleita oksia ja kuolleita ja terveitä oksia sekaisin sisältäneen ja kaiken kuusisahatavaran jakautuminen sydäntavaraan ja lautoihin rungon apteeraustavoittain simuloitujen sahausten mukaan. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitet-
tujen korpien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

Sahaustapa	Apteeraustapa					
Sahatavaran oksikkuuslaatu	1	2	3	4	5	6
Perinteinen sahaus						
Vain terveitä oksia						
Tilavuus, dm ³	30,7	31,6	21,2	30,7	31,9	31,3
Sydäntavarassa, %	96,7	96,7	94,4	97,3	96,8	96,5
Laudoissa, %	3,3	3,3	3,6	3,7	3,2	3,5
Kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisia						
Tilavuus, dm ³	45,9	45,3	23,9	45,7	44,6	45,7
Sydäntavarassa, %	79,6	80,4	68,9	79,6	79,2	79,7
Laudoissa, %	20,4	19,6	31,1	20,4	20,8	20,3
Kaikki sahatavara						
Tilavuus, dm ³	76,4	76,8	45,1	76,3	76,5	77,0
Sydäntavarassa, %	86,4	87,1	80,9	86,7	86,5	86,5
Laudoissa, %	13,6	12,9	19,1	13,3	13,5	13,5
Erikoistuva sahaus						
Vain terveitä oksia						
Tilavuus, dm ³	38,5	40,6	27,8	39,7	39,6	41,6
Sydäntavarassa, %	91,3	91,4	87,8	91,2	90,5	90,5
Laudoissa, %	8,7	8,6	12,2	8,8	9,5	9,5
Kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisin						
Tilavuus, dm ³	42,1	41,1	19,9	41,4	41,7	40,2
Sydäntavarassa, %	84,3	85,3	76,2	82,9	82,9	83,9
Laudoissa, %	15,7	14,7	23,8	17,1	17,1	16,1
Kaikki sahatavara						
Tilavuus, dm ³	80,7	81,6	47,6	81,1	81,3	81,8
Sydäntavarassa, %	87,6	88,3	83,0	86,9	86,6	87,2
Laudoissa, %	13,4	11,7	17,0	13,1	13,4	12,8

suuntaiselta vyöhykkeeltä, kuolleita oksia ja kuolleita ja terveitä oksia sisältävää sahatavaraa saadaan rungon tyvitukkiosan pinta- ja keskikerroksista ja välitukkiosan pintakerroksesta (esim. Kärkkäinen 1986a,b).

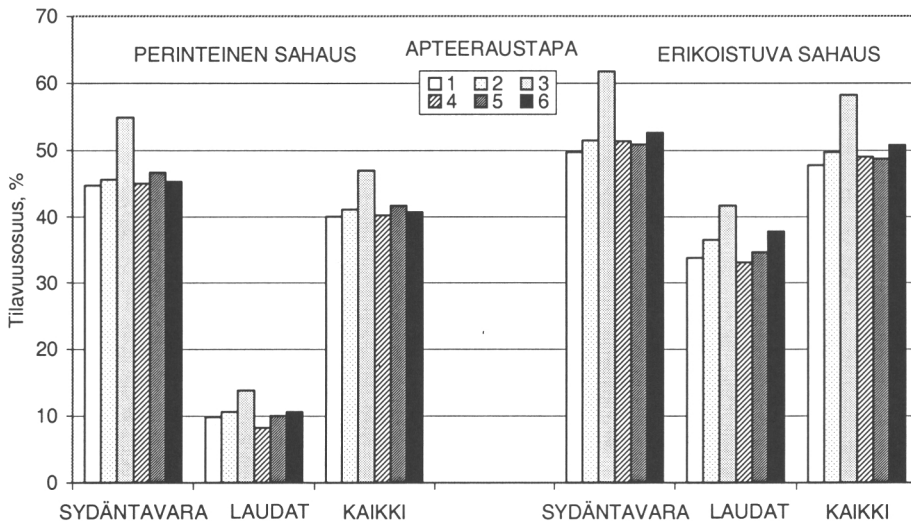
Taulukossa 3 on esitetty tämän tutkimuksen vain terveitä oksia sisältäneen, kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisin sisältäneen ja kaiken sahatavaran jakautuminen sydäntavaraan ja lautoihin tutkittujen apteeraustapojen mukaan katkottujen tukkisumien perinteisen ja erikoistuvan sahauskeskittämisen simuloinnissa. Kaikesta sahatavara-
rasta oli sydäntavaraa perinteisessä sahaustavassa hieman enemmän kuin erikoistuvassa, 83–88 % vs. 81–87 %. Tulos on varsin yhdenmukainen aiempien tutkimusten

kanssa, joiden mukaan esim. kuusitukin arvosta yli 80 % määräytyy sydäntavaran perusteella (esim. Kärkkäinen 1986a,b). Terveksaisesta sahatavarasta oli sydäntavaraa perinteisessä sahauskassa 94–97 % ja erikoistuvassa sahauskassa 88–91 %. Kuolleita oksia sisältäneestä sahatavarasta oli sydäntavaraa perinteisessä sahauskassa 69–80 % ja erikoistuvassa sahauskassa 76–85 %. Terveksaiset sahatavaralaadut keskittyvät siis jonkin verran enemmän sydäntavaraan kuin muut oksikkuuslaadut.

Kuvassa 3 on esitetty simuloidun kuusisahatavaran terveksaisen tavaran osuudet sydäntavarakkeille, laudoille ja kaikelle sahatavarakkeille tutkittujen apteeraustapojen mukaan katkotuilla tukeilla perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskassa. Terveksainen sahatavara määriteltiin tässä ainoastaan terveksaisia oksia sisältäväksi, kuitenkin ottamatta huomioon alle 5 mm:n oksia. Terveksaisen sahatavaran osuus oli kauttaaltaan varsin korkea johtuen osaksi, käyttösuhteen tavoin, muiden kuin oksavikojen suhteen huonolaatuisten runkojen hylkäämisestä aineistosta.

Tulokset viittasivat kiistatta kuusen erikoistuvan sahauskassa etuihin terveksaisen sahatavaran talteen saannin ja kuolleita oksia sisältävän sahatavaran välttämisen kannalta. Kaikkien apteeraustapojen keskiarvona erikoistuvalla sahauskalla saavutettiin huomattavasti korkeampi terveksaisen sahatavaran osuus, 51 %, kuin perinteisellä sahauskalla, 42 %. Ero oli verraten suuri sydäntavarakkeilla, 53 % vs. 47 %, ja erittäin suuri laudoilla, 36 % vs. 10 %. – Oksattomia saheita saatiin koko tukkiaineiston simuloinneissa kuusi kappaletta, joten ne yhdistettiin laskennassa ryhmään muut kuin terveksaiset saheet.

Vertailtaessa apteeraustapoja ilmeni, että katkomalla rungosta erilleen vanerituksiksi kelpaavat rungonosat jäljelle jääneistä tukeista saadun sahatavaran terveksaisen tavaran osuus oli erikoistuvassa sahauskassa 7–11 %-yksikköä ja perinteisessä



Kuva 3. Simuloidun kuusisahatavaran terveksaisen tavaran osuus sydäntavarakkeissa, laudoissa ja kaikessa sahatavarakkeissa apteeraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskassa. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korpjen ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

sahauksessakin 5–7 %-yksikköä korkeampi kuin muissa apteeraustavoissa. Terveeksaisuuden lisääntyminen oli ilmeistä sekä sydäntavaralla että laudoilla. Terveeksaisen sahatavaran osuuden kasvu johtui eniten muita sahatavaran oksaisuuslaatuja tuottavien järeiden tyvi- ja välitukkien jäämisestä sahattavan suman ulkopuolelle.

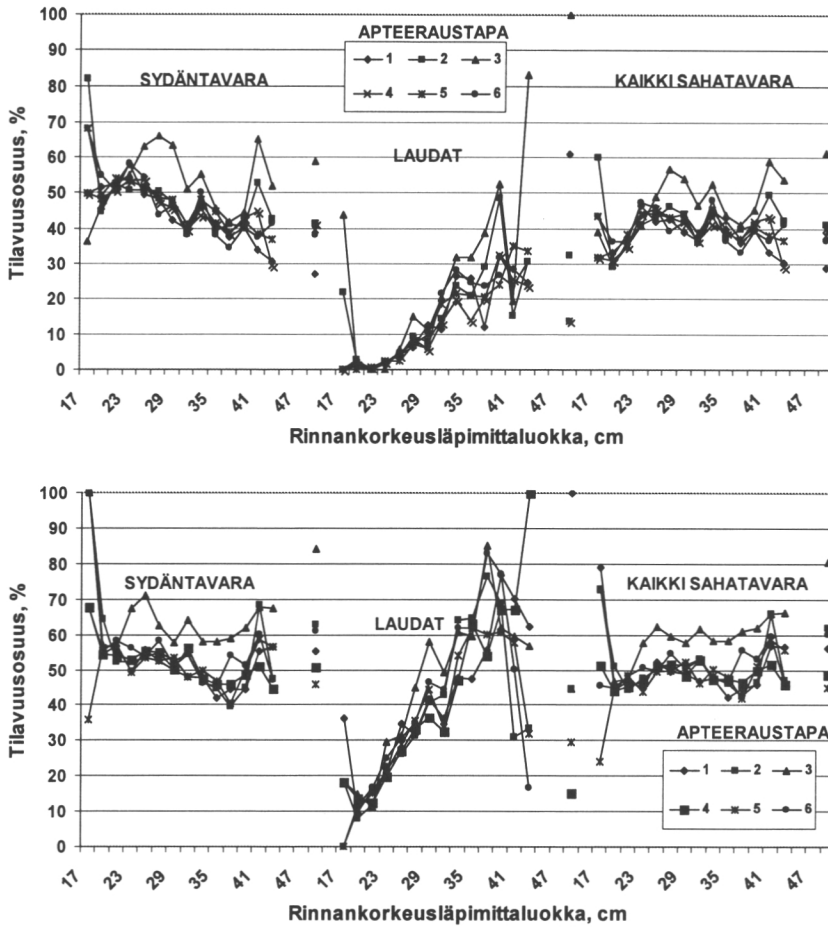
Latvusrajaan suhteutettujen apteeraustapojen 4–6 vaikutukset terveeksaisen sahatavaran osuuteen eivät olleet suuria eivätkä myöskään yksiselitteisiä verrokkina käytettyyn apteeraustapaan 2 nähden. Sydäntavaralla terveeksaisuus kasvoi noin yhden prosenttiyksikön, kun rungon katkaisukohta täsmäytettiin moduulipituuksien puitteissa perinteisessä sahaustavassa noin yksi metri ja erikoistuvassa sahauskassa noin kaksi metriä latvusrajan alapuolelle. Laudoilla latvusrajaan suhteutetulla katkonnalla ei ollut perinteisessä sahauskassa ainakaan terveeksaisuutta lisäävää vaikutusta ja erikoistuvassa sahauskassakin osuus kasvoi vain noin yhden prosenttiyksikön katkaistaessa runko kaksi metriä latvusrajan alapuolelta.

Kuvassa 4 on esitetty simuloitun kuusisahatavaran terveeksaisen tavaran osuudet vastaavalla tavalla kuin kuvassa 3 mutta lisäksi kuusitukkirungon rinnankorkeusläpimittaluokan mukaan. Tasoero erikoistuvan ja perinteisen sahausken välillä on tässäkin selvästi nähtävissä. Huomionarvoista on, että sydäntavaran terveeksaisuus pääsääntöisesti alenee rungon järeytyessä, mutta erikoistuvassa sahauskassa terveeksaisuuden väheneminen on vähäisempää tai terveeksaisuus pysyy koko läpimittajakauman alueella osapuilleen vakiotasolla (apteeraustapa 3) ja jopa kasvaa järeimmissä läpimittaluokissa verrattuna perinteiseen sahauskeen. Lautojen terveeksaisuus lisääntyy selvästi rungon järeytyessä kääntyäkseen kaikkein järeimmissä läpimittaluokissa laskuun. Tässäkin rungon järeytyminen vaikuttaa terveeksaisuuteen erikoistuvassa sahauskassa edullisemmin kuin perinteisessä.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty simuloitun kuusisahatavaran yhteispohjoismaisen NT-laatu-luokituksen mukaiset jakaumat sydäntavaralle, laudoille ja kaikelle sahatavarakkeelle apteeraustavoittain perinteisessä sahauskassa ja erikoistuvassa sahauskassa. Tässä on sahatavaran lajittelussa joko otettu tai ei otettu huomioon dimension, oksaisuuden ja vajaasärmäisyyden lisäksi reaktiipuuta (lylyä).

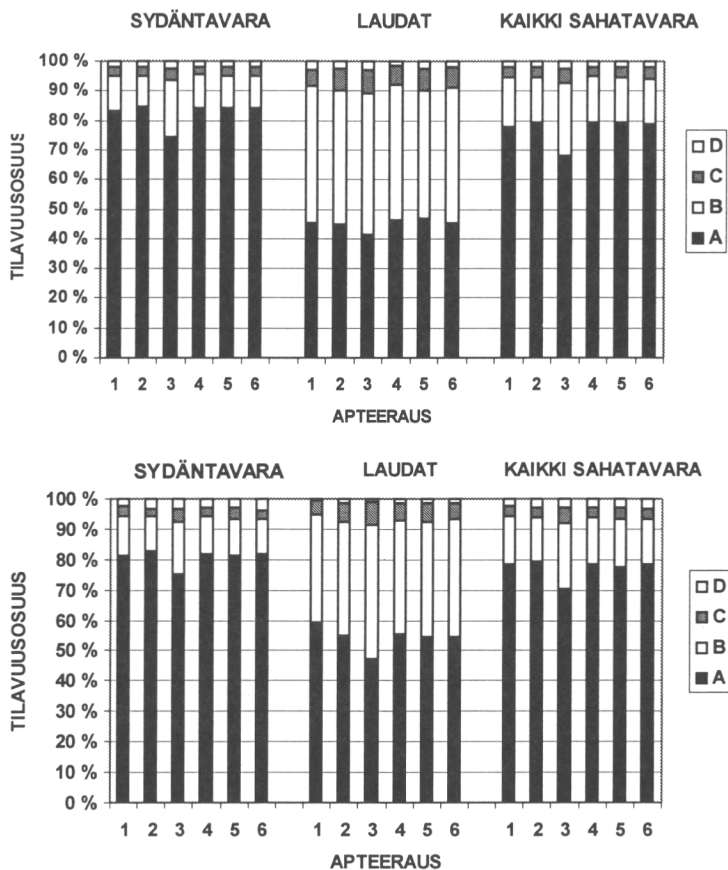
Lylypuun vaikutukset sivuuttaen NT-lajittelun sydäntavaran kuten myös koko sahatavarakkeiden laatuja osuus oli erikoistuvassa sahauskassa hieman huonompi mutta lautojen laatuja osuus vastaavasti selvästi parempi kuin erikoistuvassa sahauskassa. Kaikkea sahatavaraa tarkastellen A-laatu-luokan osuus oli tällöin molemmissa sahaustavoissa korkea, lähes 80 %. A-laatu-luokan osuus oli tällä tasolla kaikissa apteeraustavoissa lukuun ottamatta apteeraustapaa 3, jossa vaneritukkipolien rungonosien jättäminen pois sahattavasta tukkisumasta johti osuuden alenemiseen erikoistuvassa sahauskassa hieman yli ja perinteisessä sahauskassa vajaaseen 70 prosenttiin. Tämä ero korvautui lähinnä B-laatu-luokan osuuden kasvuna 15–20 prosentista noin 25 prosenttiin. Runkojen latvusrajaan suhteutettu katkonta heikensi hieman sydäntavaran laatu-luokajakaumaa mutta paransi vastaavasti jonkin verran lautojen laatu-luokajakaumaa. Koko sahatavarakkeiden laatu-luokajakaumaan latvusrajaan suhteutetulla katkonnalla oli lievästi heikentävä vaikutus, erityisesti erikoistuvassa sahauskassa.

Lylypuun vaikutusten huomioon ottaminen suurensi NT-lajittelussa sahatavaran laatueroja perinteisen sahausken hyväksi erikoistuvaan sahauskeen verrattuna. Tä-



Kuva 4. Simuloidun kuusisahatavaran terveoksisen tavaran osuus sydäntavarassa, laudoissa ja kaikessa sahatavarassa rungon rinnankorkeusläpimittaluokittain apteeraustavoittain perinteisessä sahauskassa (yläkuva) ja erikoistuvassa sahauskassa (alakuva). (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

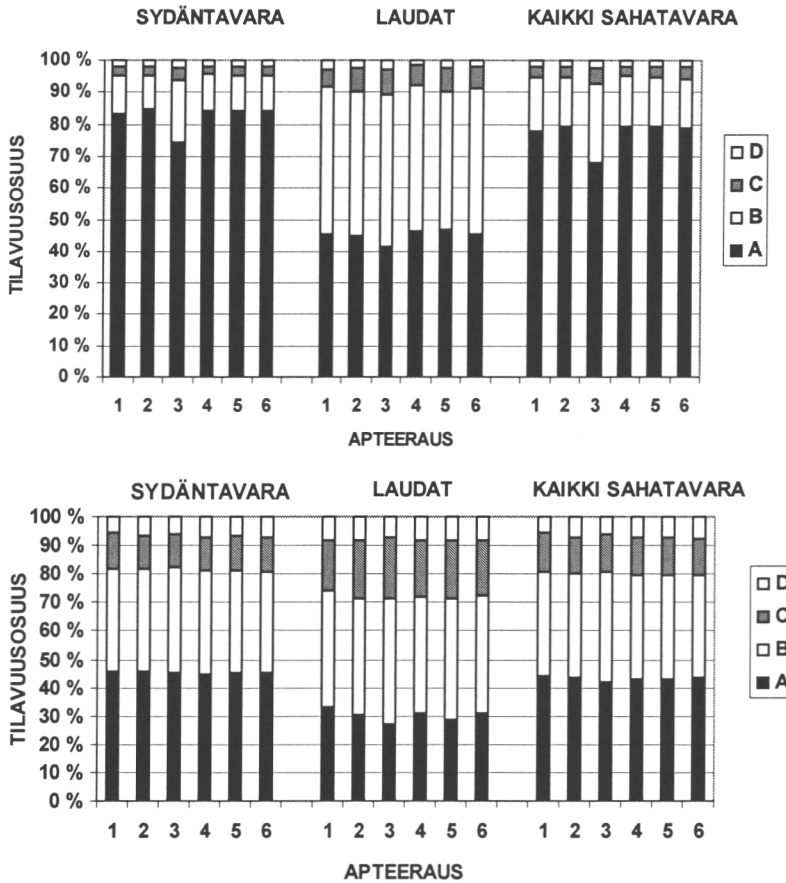
mänsuuntainen ero A-laatuokan osuudessa oli sydäntavaralla ja kaikella sahatavaralla noin 10 %-yksikköä ja laudoillakin noin 15 %-yksikköä. Tuotelähtöinen sahaus on tunnetusti herkkä tukin sisävikaisuudelle, joten lylypuun huomioon ottaminen heikensi sahatavaran laatuokkajakaumaa erikoistuvassa sahauskassa enemmän kuin perinteisessä sahauskassa. Kaikkea sahatavaraa tarkastellen A-laatuokan osuus oli tässä tarkastelussa perinteisessä sahauskassa 52–54 % ja erikoistuvassa sahauskassa 42–44 %. Tässäkin tarkastelussa apteeraustapa 3 poikkesi yleislinjasta perinteisessä sahauskassa, jossa A-laatuokan osuus oli 47 %. Erikoistuvassa sahauskassa tämä osuus oli niinkin korkea kuin 43 % eli lähes sama kuin muissa apteeraustavoissa. Tulosten perusteella reaktiipuuta alentaa ennen kaikkea kuusen järeistä tyvi- ja välitukeista saatavan sahatavaran laatua.



Kuva 5. Simuloidun kuusisahatavaran sydäntavaran, lautojen ja kaiken sahatavaran NT-laatu-luokkajakauma apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sa-hauksessa (alakuva), kun laatuoluokituksessa ei otettu dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon reaktiopuuta (lylyä). (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitet-tujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

Tässä tutkimuksessa sahatavaran NT-laatulajittelussa ei voitu ottaa huomioon kaik-kia laatua alentavia tekijöitä, mikä osaltaan johti hyvin laatuajakaumiin. Oleelliset tiettyä dimensiota olevan kuusisaheen NT-laatua alentavat tekijät ovat tutkimuksessa huomioon otettujen oksaisuuden ja reaktiopuun lisäksi pihkataskut, laho ja erilaiset väriviivat sekä vinosyisyys. Lisäksi tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon aineis-ton rakenne eli huonomuotoisten, ulkoisten tunnusmerkkien perusteella lahoisten ja muutenkin vikaisten tukkirunkojen karsiminen aineistosta.

Kysymys sinänsä on, miten pitkälle NT-lajittelun tulosten perusteella voidaan pää-tellä erikoistuvan sahauksen ja aidon tuotelähtöisyyden vaikutusta sahatavaran laa-dulliseen kilpailukykyyn ja arvoon. NT-lajittelu on kehitetty sitä edeltäneen u/s-kvintta-seksta-lajittelun tavoin keskimääräisenä kaikelle sahatavaratuotannolle, joten se ei vastaa erityisen hyvin modernin tuote- ja varsinkaan asiakaslähtöisen sahatavarakau-



Kuva 6. Simuloidun kuusisahatavaran sydäntavaran, lautojen ja kaiken sahatavaran NT-laatu-luokkajakauma apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sa-hauksessa (alakuva), kun laatuluokituksessa otettiin dimension, oksien ja vajaanäsmäisyyden lisäksi huomioon myös reaktiopuu (lyly). (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitet-tujen korpien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

pan vaatimuksia. Käytännössä NT-lajittelun käyttö onkin vähäistä. Tämän tutkimuk-sen tulokset antavatkin tältä osin tietoa lähinnä eri tavoilla apteerattujen kuusirunko-jen ja näin saaduista tukeista sahatun kuusisahatavaran suhteellisista arvoeroista var-sin tavanomaisia käyttötarkoituksia ajatellen.

3.3.3 Sahatavaran bruttoarvo

Koko kuusitukkiaineiston erikoistuvassa sahauksessa sahatavaran bruttoarvo oli si-muloinneissa apteeraustavasta riippuen 31–35 % korkeampi kuin perinteisessä sa-hauksessa, kun reaktiopuun vaikutuksia ei otettu huomioon sahatavaran laatuluo-kituksessa (kuva 7). Reaktiopuun huomioon ottaminen pienensi tämän eron 23–30 prosenttiin. Tässäkin ilmeni siis erityisesti tuotelähtöisen sahauksen tuottojen herk-kyys tukin sisävikaisuudelle. Rungon apteeraustapa vaikutti hyvin vähän bruttoarvoon.

Erikoistuvan ja perinteisen sahauksen ero oli kuitenkin suurempi apteeraustavassa 3, jossa vaneritukkikelpoiset rungonosat eroteltiin sahattavista osista, kuin muissa apteeraustavoissa.

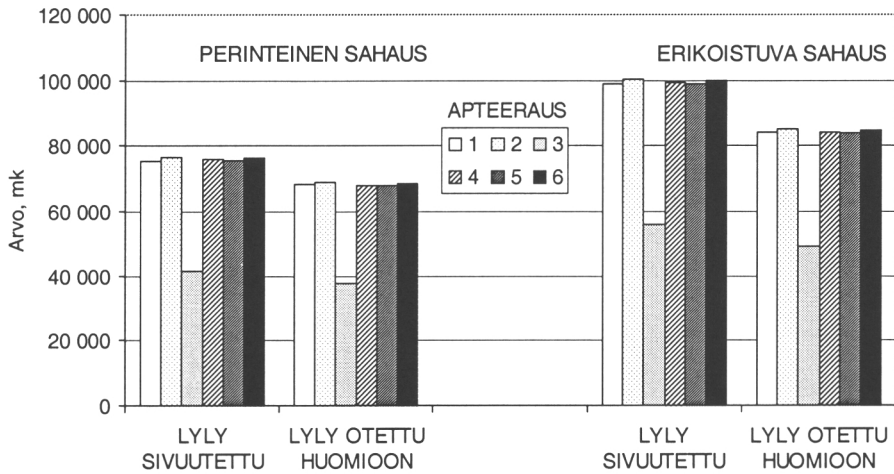
Kun tukkien käyttösuhte oli kuitenkin erikoistuvassa sahauksessa pienempi kuin perinteisessä sahauksessa, sahaustapojen ero sahatavaran yksikköarvossa oli hieman pienempi kuin kokonaisarvossa (kuva 8). Yksikköarvo oli erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavasta riippuen 1176–1228 mk/m³ eli 22–24 % korkeampi kuin perinteisessä sahauksessa, jossa se oli 920–993 mk/m³, kun reaktiopuun vaikutuksia ei otettu huomioon sahatavaran laatuluokituksessa. Vastaavat yksikköarvot olivat 1030–1045 mk/m³ ja 830–897 mk/m³ ja sahaustapojen välinen suhteellinen ero oli 16–23 %, kun reaktiopuun vaikutukset otettiin huomioon. Tulokset yksikköarvon tasosta olivat varsin realistisia ao. vuosien kuusisahatavaran tilastoituihin keskivientihintatasoihin nähden, 1040 mk/m³ vuonna 1994 (Aarne 1995) ja 932 mk/m³ vuonna 1995 (Mikkola 1996).

Sahatavaran arvotarkastelut perustuivat tässä perinteisen sahauksen osalta NT-lajittelun mukaiseen sahatavaran laatuluokitukseen ja hinnoitteluun tätä sahaustapaa edustaneen sahan laatuluokittaisilla keskihintoilla ja erikoistuvan sahauksen osalta puolestaan tätä sahaustapaa edustaneen sahan omaan sahatavaran laatuluokitukseen ja hinnoitteluun. Tässäkin tuote- ja asiakaslähtöisyyden mukaiseen erikoistamiseen liittyvät toimenpiteet runkojen katkonnassa ja varsinkin tukkilajittelussa ja sahausasetteiden varioinnissa kuten myös sahatavaran lajittelussa ja hinnoittelussa olivat vielä varsin yksinkertaisia. Tältä pohjalta esitetyt arviot kuusen erikoistuvan sahaustavan myönteisistä vaikutuksista tuotetun sahatavaran kokonais- ja yksikköarvoon ovat ilmeisiä aliarvioita.

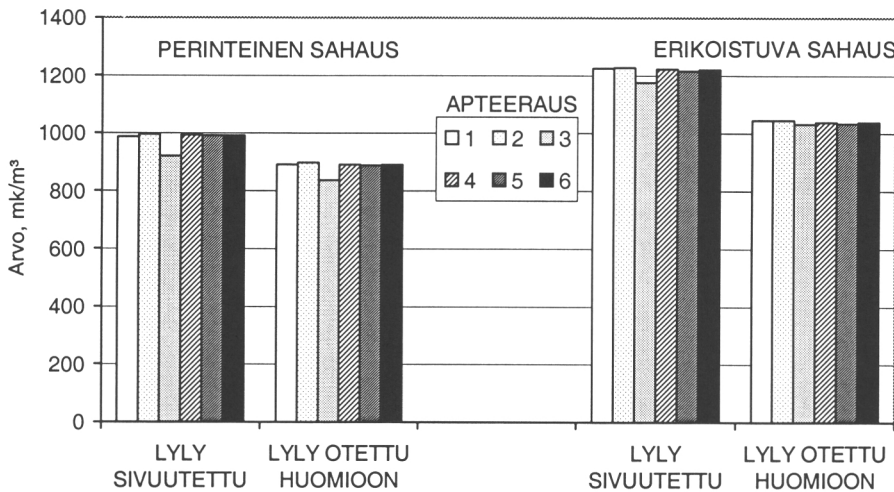
3.3.4 Runkojen bruttotuotot

Pelkästään bruttotuottojen kannalta tarkastellen tuotelähtöisessä sahauksessa rungoista saatiin irti noin 25 % enemmän kuin perinteisessä sahauksessa, ero oli 17 % otettaessa huomioon myös lylypuun vaikutus (kuva 9). Tämä ei ole tietenkään koko totuus toiminnan kannattavuudesta, sillä sahatavaran valmistuksen yksikkökustannukset ovat erikoistuvassa sahauksessa korkeammat kuin perinteisessä sahauksessa. Ero määräytyy tapauskohtaisesti riippuen mm. käytettävissä olevien tukkien ominaisuuksista, puunkäsittely-, sahaus- ja jälkikäsitteilylinjojen teknisestä soveltuvuudesta ja kapasiteetin käyttöasteesta ja ennen kaikkea siitä, miten paljon painotetaan työvoimaresursseja ja tuotteen varastointia vaativaa lajittelun tarkentamista ja kohdentamista ja mahdollisesti omaa jatkojalostusta. – Metsikkötyypin vaikutusta kuusitukkirungon bruttotuottoihin on tarkasteltu lähemmin tämän julkaisun artikkelissa Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.

Erityisesti on korostettava, että tässä tutkimuksessa saadut tulokset perinteisen ja erikoistuvan sahauksen tuottoeroista koskevat sellaisen sahan puunkäyttöä, joka myy kuusitukkirungoista saatavat vaneritukit ja kuitupuun muille käyttäjille. Kysymyksessä on tällöin puunosto pystykaupalla. Runkojen bruttoarvo muodostuu kokonaan toiseksi, mikäli myös näille itsenäisen sahan kannalta sivupuutavaralajeille määrite-

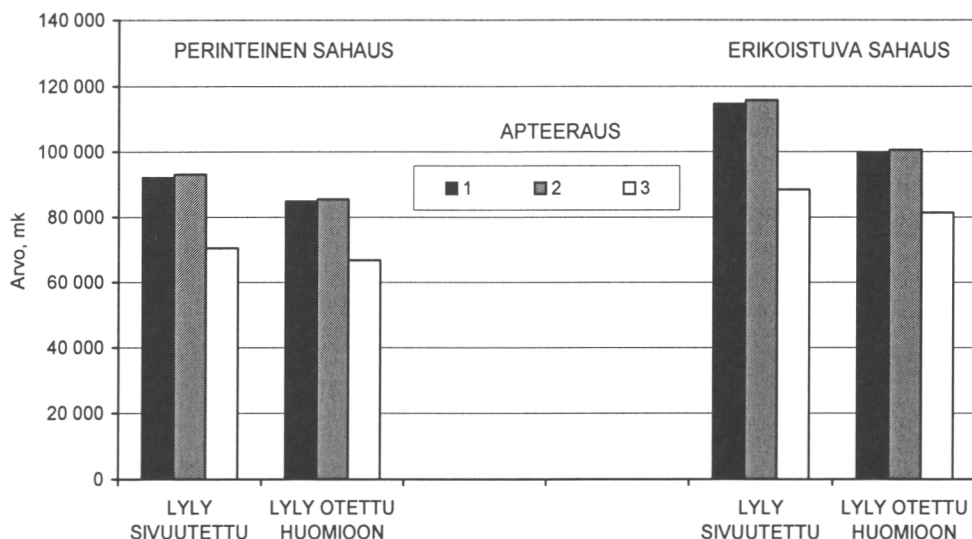


Kuva 7. Kuusisahatavaran simuloitu kokonaisbruttoarvo apteeraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskassa, kun sahatavaran lajittelussa ei otettu tai otettiin dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon lylypuu. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)



Kuva 8. Kuusisahatavaran simuloitu bruttoyksikköarvo apteeraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskassa, kun sahatavaran lajittelussa ei otettu tai otettiin dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon lylypuu. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

tään arvo samalla tavalla tuotelähtöisesti kuin sahatukeille. Tilanne voi olla ainakin osittain tällainen integraattirytyksiin kuuluvilla sahoilla, tai itse asiassa niiden puuhuollosta vastaavilla integraattirytysten metsäosastoilla tai tytäryhtiöinä tms. toimivilla puunhankintarytyksillä. Tässä tutkimuksessa sivupuutavaralajit hinnoiteltiin käyttäen perusteena pyöreän puun toimitushintaa käyttöpisteessä.



Kuva 9. Kuusitukkirungoista saatujen tuottojen bruttoarvo apteeraustavoilla 1-3, kun sahataran lajittelussa ei otettu tai otettiin huomioon dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi lylypuu. (Apteeraustavat: ks. tämän julkaisun artikkeli Ojitettujen korpien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot.)

5 Kirjallisuus

- Aarne, M. 1995 (toim.). Metsätalastollinen vuosikirja 1995. SVT Maa- ja metsätalous 1995:5. 354 s.
- Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1995(3): 165-178.
- Asikainen, K. & Heiskanen, V. 1970. Havusahatukkiin laadun mukaiset arvosuhteet. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 70(3): 1-77.
- Bergstedt, A., Ståhl, E. & Toftgaard, T. 2001. Diameter increment, wood density and spiral grain. Julkaisussa: Bergstedt, A., Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P & Ståhl, E. (eds.). Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 11-22.
- Flaete, P.O., Kucera, B. & Haartveit, E.Y. 2001. Strength and related properties of Norway spruce timber in structural sizes. Julkaisussa: Bergstedt, A., Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P & Ståhl, E. (eds.). Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 41-49.
- Fonselius, M., Lindgren, C., Makkonen, O. & Saarelainen, U. 1996a. Lujuuslajittelu nostaa jalostusarvoa - Suomalaisen sahataran laatu ja saanto. VTT Rakennustekniikka, 10/6.96. 4 s.
- Fonselius, M., Lindgren, C., Makkonen, O. & Saarelainen, U. 1996b. Lujuuslajittelu nostaa jalostusarvoa - Suomalaisen sahataran laatu ja saanto, vaihe 2. VTT Rakennustekniikka, 12/12.96. 4 s.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5): 1-98.

- Hakkila, P. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Lyhennelmä: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 66(6): 1-60.
- Hakkila, P. & Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. *Folia Forestalia* 147. 15 s.
- Hakkila, P. & Laiho, O. 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 70(2): 1-34.
- Hakkila, P. & Rikkonen, P. 1972. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. *Folia Forestalia* 92. 16 s.
- Hakkila, P. & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 66(6): 1-23.
- Heiskanen, V. 1968. Kuusitukkien laatuluokkajakauma Etelä-Suomessa. *Silva Fennica* 2(1): 1-18.
- Heiskanen, V. 1976. Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974-1975. *Folia Forestalia* 251. 67 s.
- Heiskanen, V. 1977. Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuerot. *Folia Forestalia* 296. 30 s.
- Heiskanen, V. & Asikainen, K. 1969. Havusahatukkien järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 69(3): 1-122.
- Hyppönen, M. & Norokorpi, Y. 1979. Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa. *Folia Forestalia* 381. 13 s.
- Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. *Communications Instituti Forestalis Fenniae*. 33(3): 1-66.
- Kallio, T. 1972. Esimerkki kuusikon lahovikaisuuden Etelä-Suomessa aiheuttamista taloudellisista menetyksistä. *Silva Fennica* 6(2): 116-124.
- Kallio, T. & Norokorpi, Y. 1972. Kuusikoiden tyvilahoisuus. *Silva Fennica* 6(1): 39-51.
- Kallio, T. & Tamminen, P. 1974. Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. Seloste: Ahvenanmaan kuusien lahovikaisuus. *Acta Forestalia Fennica* 138: 1-42.
- Kerkelä, M. 1997. Jakauma- ja arvoapteerauksen vaikutus leimikon tukkisaantoon, hakkuukoneen tuottavuuteen ja tukkien laatuun ja keskipituuteen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiivistelmä metsäteknologian ja puutalouden pro gradu työstä. 33 s. + liitteet.
- Kärkkäinen, M. 1972a. Havaintoja kuusen oksaisuudesta. *Silva Fennica* 6(2): 90-115.
- Kärkkäinen, M. 1972b. Kuusen ja männyn sydänpuuosuudesta. *Silva Fennica* 6(3): 193-208.
- Kärkkäinen, M. 1976. Havutukkien painomittauksen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 89(1): 1-59.
- Kärkkäinen, M. 1981. Männyn ja kuusen pihkapitoisuuden lisääminen sivutuotesaannon kohtamiseksi. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 96(8): 1-81.
- Kärkkäinen, M. 1985a. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. Sotkamo. 415 s.
- Kärkkäinen, M. 1985b. Suomalaisen kuusen puuaineen vertailua Keski-Euroopassa kasvanneiden kuusi- ja jalokuusilajien puuaineeseen. *Silva Fennica* 19(2): 169-184.
- Kärkkäinen, M. 1986a. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. *Silva Fennica* 20(2): 107-116.
- Kärkkäinen, M. 1986b. Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteet. *Silva Fennica* 20(2): 117-127.
- Kärkkäinen, M. & Dumell, O. 1983. Kuusipuun taivutuslujuuden riippuvuus tiheydestä ja vuosiluston leveydestä Etelä- ja Pohjois-Suomessa. *Silva Fennica* 17(2): 125-135.
- Kärkkäinen, M. & Hakala, H. 1983. Kuusitukin koon vaikutus sivulautojen taivutus- ja puristuslujuuteen. *Silva Fennica* 17(2): 137-142.
- Kärkkäinen, M. & Pietilä, J & Vihola, R. 1985. Suomalaisten puulajien iskutaivutuslujuus tuoreena. *Silva Fennica* 19(4): 421-427.

- Kärkkäinen, M. & Raivonen, M. 1977. Reaktiopuun mekaaninen lujuus. *Silva Fennica* 11(2): 87-96.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisulämpimitasta. *Folia Forestalia* 233. 20 s.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splini-funktiolla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 95(8): 1-63.
- Lehtonen, I. 1978. Knots in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and their effect on the basic density of stemwood. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) sisäoksat ja niiden vaikutus puuaineen tiheyteen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 95(1): 1-34.
- Mikkola, E. (toim.). 1996. Metsätilastollinen vuosikirja 1995. SVT Maa- ja metsätalous 1996:3. 351 s.
- Nordic Timber Grading Rules. 1994. Föreningen Svenska Sågverksmän, Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys, Treindustriens Tekniske Forening, Stockholm, Helsinki, Oslo. 64 s.
- Ollinmaa, P.J. 1959. Reaktiopuututkimuksia. *Acta Forestalia Fennica* 72(1): 1-53.
- Ollinmaa, P.J. 1960. Eräistä ojitetuilla soilla kasvavan puun fysikaalisista ominaisuuksista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(2): 1-24.
- Peltola, A. 2001 (toim.). Metsätilastollinen vuosikirja 2001. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 52. 374 s.
- Pennanen, O. & Yli-Hukkala, T. 1994. Järeän kuusen käyttö. Paperi ja Puu - Paper and Timber 76(4): 210-213.
- Rieppo, K. & Marjomaa, J. 1992. Apteerauksen taso ja apteerausvirheiden syyt havutukkien hakkuissa. *Metsätehon tiedotus* 408. 28 s.
- Rikkonen, P. 1970. Minimilämpimitan vaikutus kuusirungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(2): 1-46.
- Saikka, O. 1975. Typpilannoituksen vaikutuksesta männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85(5): 1-24.
- Saranpää, P. 1983. Puuaineen tiheyden ja vuosiluston leveyden vaikutus kuusen iskutaivutuslujuuteen Etelä- ja Pohjois-Suomessa. *Silva Fennica* 17(4): 381-388.
- Saranpää, P. 1994. Basic density, longitudinal shrinkage and tracheid length of juvenile wood of *Picea abies* (L.) Karst. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 68-74.
- Saranpää, P. 2000. Mechanical performance of juvenile wood. *Julkaisussa: Stanzl-Tschegg, S.E. & Reiterer, A. (eds.). Proceedings of the International Symposium on Wood Machining "Properties of Wood and Wood Composites related to Wood Machining", 27-29 September, 2000, Vienna, Austria. Christian-Doppler-Laboratory for Fundamentals of Wood Machining, Institute of Meteorology and Physics, University of Agricultural Sciences, ss. 63-71.*
- Saranpää, P. & Repola, J. 2000. Density of Norway spruce – can it be predicted and related to strength? *Julkaisussa: Stanzl-Tschegg, S.E. & Reiterer, A. (eds.). Proceedings of the International Symposium on Wood Machining "Properties of Wood and Wood Composites related to Wood Machining", 27-29 September, 2000, Vienna, Austria. Christian-Doppler-Laboratory for Fundamentals of Wood Machining, Institute of Meteorology and Physics, University of Agricultural Sciences, ss. 73-79.*
- Saranpää, P. & Repola, J. 2001. Strength of Norway spruce from both mixed stands and monocultures. *Julkaisussa: Bergstedt, A., Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P & Ståhl, E. (eds.). Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 33-39.*
- Simes, F.E. 1960. Tutkimus kuusisahatukkien ominaisuuksista ja tukkilaadun vaikutuksesta sahatavarain laatuun sekä alustava ehdotus kuusisahatukkien laatuluokitusta varten. Paperi

- ja Puu 42(3): 79-105.
- Sirén, G. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimailla. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 40(32): 1-36.
- Tolkki, P. & Saramäki, J. 1997. Esitutkimus kuusitukin erilaisten mittavaatimusten vaikutuksesta tukin saantoon. Pohjois-Karjalan metsänhoitoyhdistysten liitto ry. Moniste. 11 s.
- Tuimala, A. 1979. Kuusen lahon aiheuttamista puutavaralajisiirtymistä ja kantohintamenetyksistä. *Silva Fennica* 13(4): 333-342.
- Uusvaara, O. 1997. Havutukkipuuston ulkoinen laatu Suomen etelä- ja lounaisrannikolla ja Ahvenanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 664. 25 s.
- Velling, P. 1976. Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen tiheyden vaihtelusta. *Folia Forestalia* 257. 32 s.
- Velling, P. 1980. Variation in the wood density of different Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) origins in the provenance tests. Seloste: Mänty- ja kuusialkuperien puuaineen tiheyden vaihtelusta provenienssikokeissa. *Silva Fennica* 14(1): 45-51.
- Velling, P. & Nepveu, G. 1989. Some preliminary results concerning the variation in wood quality between Norway spruce from Finland and France (Vosges departement). Julkaisussa: Stener, L.-G. & Werner, M. (eds.). Norway spruce; provenances, breeding and genetic conservation. Proceedings of the IUFRO working party meeting, S2.02-11, in Sweden, 1988. The Institute for Forest Improvement, Report No. 11: 153-163. Uppsala, Sweden.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 1994. Predicting Young's modulus of Scots pine, Norway spruce and European fir from Finland and France for the comparison of wood quality. Proceedings First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, Sopron, Hungary, September 21-23, ss. 279-293.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 1996. External quality of the saw timber stock of Scots pine and Norway spruce in Finland and France. Tiivistelmä: Suomen ja Ranskan mänty- ja kuusitukkipuuston ulkoinen laatu. Paperi ja Puu - Paper and Timber 78(5): 313-322.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 2000. Predicting MOE and MOR of Scots pine, Norway spruce and European fir from Finland and France for the comparison of wood quality. Julkaisussa: Stanzl-Tschegg, S.E. & Reiterer, A. (eds.). Proceedings of the International Symposium on Wood Machining "Properties of Wood and Wood Composites related to Wood Machining", 27-29 September, 2000, Vienna, Austria. Christian-Doppler-Laboratory for Fundamentals of Wood Machining, Institute of Meteorology and Physics, University of Agricultural Sciences, ss. 91-102.
- Waresjö, M. 2001. A comparison of wood quality between mixed stands and monocultures of Norway spruce. Julkaisussa: Bergstedt, A., Kucera, B., Nylinder, M., Saranpää, P & Ståhl, E. (eds.). Wood quality of Norway spruce grown in mixture with birch and in monoculture. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 822: 23-32.
- Wegelius, Th. 1939. The presence and properties of knots in Finnish spruce. *Acta Forestalia Fennica* 48(1): 1-191.

Kuusitukkirunkojen laatu ja puuaineen mekaaniset ominaisuudet Suomessa ja Ranskassa

Erkki Verkasalo¹ ja Jean-Michel Leban²

¹Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

²Institut National de la Recherche Agronomique INRA, France

Centre de Recherches de Nancy

Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois

I Taustaa

Suomalaisen kuusen päätuoteryhmät puutuoteteollisuudessa ovat sahatavara ja sen jatkojalosteet sekä vanerit ja kertopuu. Pääosa suomalaisesta kuusisahatavarasta ja kaikki kuusivaneri ja -kertopuu käytetään erilaisiin rakennustuotteisiin, joskin hyvälaatuista kuusta käytetään runsaasti myös puusepänteollisuudessa ja vaaleiden puulajien suosion kasvun myötä nytemmin myös huonekaluteollisuudessa.

Kuusisahatavaramme kilpailijat päämarkkina-alueilla Keski- ja Länsi-Euroopassa ja Japanissa tulevat ennen kaikkea Skandinaviasta ja Keski-Euroopasta ja osin Baltiasta, Itä-Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta. Suomalainen kuusisahapuu tunnetaan Euroopassa korkealaatuisena puusepän- ja huonekalupuuna mutta myös laadukkaana rakennuspuuna. Keski- ja Länsi-Euroopan omaa, kasvavaa havutukkipuustoa pidetään oksaisuuden ja rungon suoruuden puolesta suomalaista heikkolaatuisempaan ja huonosti soveltuvana hyvää ulkonäkölaatua edellyttävien sahatavaralaatujen valmistukseen. Kantavien rakenteiden, kuten rakennusten runkorakenteiden, kattotuolien, kantavien palkkien yms. raaka-aineena se kilpailee voimakkaasti suomalaisen raaka-aineen kanssa.

Mekaaniset ominaisuudet, varsinkin lujuus ja kimmoisuus (jäykkyys), ovat rakennuspuun tärkeimpiä laatuksia. Eri maissa on omat normistonsa rakennesahatavaraalta, -vanerilta ja -liimapuulta vaadittavalle minimilujuudelle ja -jäykkyydelle. Sahatavaralla lujuus ja jäykkyys riippuvat dimensioista sekä puuaineen lujuuden sekä sitä alentavien vikojen yhteisvaikutuksesta. Puuaineen lujuus ja jäykkyys riippuvat puun perusominaisuuksista, kuten tiheydestä, vuosiluston leveydestä, kevät- ja kesäpuun osuudesta sekä nuorpuun ja reaktiipuun (lylyn) esiintymisestä. Lujuutta ja jäykkyyttä alentavia vikoja ovat mm. oksaisuus, vinosyisyys, halkeamat ja laho.

Suomalaisella puutuoteteollisuudella on yleisesti tiedetty olevan raaka-aineeseen pohjautuvia kilpailuetuja, jotka näkyvät tuotteiden ominaisuuksissa. Kansainväliset puuaineen, puutavaran ja tuotteiden laatuvertailut ovat kuitenkin olleet puulajista

riippumatta harvinaisia. Objektiiviset, yhdenmukaisin menetelmin laajoihin metsistä tai tukki- tai sahatavaravarastoista kerättyihin aineistoihin perustuvat vertailevat tutkimukset puuttuvat kokonaan, osin niiden toteutuksen organisatoristen ja teknisten vaikeuksien vuoksi. Rajoitettuja tutkimuksia kuusen puuaineen ja sahatavaran ominaisuuksien, laadun ja arvon vertailemiseksi pohjoismaiden ja Keski-Euroopan välillä ovat tehneet Gaber (1937), Göhre (1955), Kollman (1959), Hudson (1967), Nepveu ym. (1988a,b), Mazet ym. (1989) ja Schumacher (1993). Kirjallisuustutkimuksia ja keskusteluartikkeleita ovat julkaisseet Hempel (1934), Wood from Nordic ... (1983), Kärkkäinen (1985), Brickenstein (1992) ja Radovic ym. (1992).

2 Vanhoja tietoja kuusen laadusta rakennuspuuna Suomessa ja Keski-Euroopassa

Puuaineen tiheys, syykulma ja oksat ovat puutavarakappaleen dimensioiden ohella tärkeimmät rakennuspuun mekaanisiin käyttöominaisuuksiin vaikuttavat tekijät (esim. Bodig & Jayne 1982). Yleinen käsitys pohjoismaisen kuusipuun paremmuudesta keskieuropalaiseen verrattuna rakennuspuuna käytössä perustuu paljolti siihen, että lauhkean ilmastovyöhykkeen nykyinen kuusipuusto on tavallisesti nopeakasvuisempaa, oksaisempaa ja rungon suoruuden suhteen vikaisempaa kuin pohjoisen havumetsävyöhykkeen puusto. Nämä erot ilmenevät puuraaka-aineessa leveämpinä vuosilustoina ja pienempänä kesäpuun osuutena sekä alempana tiheytenä, lujuutena ja jäykkyytenä. Samassa luston leveydessä kuusen puuaineen tiheys voi kuitenkin olla keskieuropalaisilla leveysasteilla korkeampi kuin pohjoisilla. Keskieuropalaisen kuusen puuaineen suhteellisia haittapuolia ovat myös korkeampi nuorpuun osuus, suuremmat oksat, useammin esiintyvä reaktiopuu eli lily, voimakkaampi kierteisyyden ja alhaisempi permeabiliteetti. Erilaisten rungon ja puuaineen bioottisten vikojen, kuten hyönteisten ja nisäkkäiden aiheuttamien vaurioiden ja verraten usein toistuvien myrskyjen ja ilmetessään yleensä vakavien lumituhojen merkitys saattaa olla Keski-Euroopassa suurempi kuin pohjoismaissa. Kuusen puuaineen parempi mitta- ja muotopysyvyys on sen sijaan ilmeisesti suhteellinen etu Keski-Euroopassa. Koska täällä käytetään metsänkasvatuksessa suurempia puuston tiheyksiä kuin pohjoismaissa nuoresta taimikosta lähtien, kuivat oksat voivat olla pienempiä mutta niitä on ilmeisesti enemmän. Kuusen laatukasvatuksessa on käytetty Keski-Euroopassa pohjoismaista poiketen myös jonkin verran pystykarsintaa.

3 Kuusipuun mekaanisten ominaisuuksien merkitys

Pituussuuntainen kimmokerroin ja lujuus taivutuksessa ovat yleisimpiä suureita ilmaistaessa staattisten kuormitusten vaikutuksia puuaineessa ja puokappaleissa. Kimmokerroin on jäykkyyttä kuvaava suure, mutta sitä voidaan käyttää myös arvioitaessa lujuutta, koska lujuuden ja jäykkyyden välillä on kohtuullisen hyvä riippuvuus (Borg

1962, Bodig & Jayne 1982). Siitä huolimatta staattisen lujuuden suora mittaaminen on tärkeää määritettäessä puun käytännöllistä vastustuskykyä kuormituksessa. Kimmokerroin ja lujuus ovat molemmat tärkeitä suureita puurakenteiden suunnittelussa ja puutuotteiden lujuuslajittelussa, usein ne ovat rakennuspuun tärkeimmät ominaisuudet (Panshin & de Zeeuw 1980, Bodig & Jayne 1982). Ne ovat myös tärkeitä puuaineen kyvyille vastustaa kuivumis- ja turpoamisjännityksiä ja työstövoimia ilman halkeilua ja lohkeilua ja täten olennaisia huomioon otettavia seikkoja mm. kuivauskaavojen ja työstöprosessien suunnittelussa (esim. Siimes 1967, Rasmussen 1961).

Puuaineen ja puutavaran kimmokerroin voidaan arvioida puuta rikkomattomilla testausmenetelmillä ja lujuus puun rikkovilla ja epäsuorasti myös monenlaisilla puuta rikkomattomilla menetelmillä. Nämä ovat usein kuitenkin työläitä, aikaa vieviä ja verraten kalliita menetelmiä moniin käytännöllisiin tarpeisiin. Kimmokertoimella ja lujuudella on läheisiä riippuvuussuhteita puuaineen perusominaisuuksien, kuten tiheyden, vuosiluston leveyden ja kesäpuun osuuden kuten myös nuor- ja reaktiopuun esiintymisen kanssa. Nämä korrelaatiot on todettu lujuudella jonkin verran voimakkaammiksi kuin kimmokertoimella (Borg 1962, Bodig & Jayne 1982).

Monet puuaineen perusominaisuudet ovat helposti mitattavissa, joissakin tapauksissa mittaustuloksia on valmiina olemassa (esim. kansalliset ja alueelliset metsäninventoinnit, puutavaratutkimukset pystypuustosta ja puuvarastoista). Täten kimmokertoimen ja lujuuden ennustaminen puuaineen perusominaisuuksiin perustuvilla malleilla on kiintoisa ja realistinen vaihtoehto niiden määrittämiseksi. Tällaisia malleja voitaisiin soveltaa seuraaviin tarkoituksiin:

- 1) Puutavaran teknillisen laadun ja puuaineen perusominaisuuksien yhteyksien ymmärtäminen.
- 2) Erilaisen puuraaka-aineen mahdollisten käyttötarkoitusten arviointi puuaineen perusominaisuuksista olemassa olevan tiedon perusteella.
- 3) Puutavaran teknillisen laadun vertailu eri maissa, maantieteellisillä alueilla, ilmasto-oloissa, kasvupaikka- ja maaperätyypeillä, leveysasteilla ja maanpinnan korkeuden mukaan.
- 4) Puutavaran teknillisessä laadussa ilmenevien erojen syiden tarkastelu.

4 Tutkimusten tavoitteet

Metsäntutkimuslaitoksen entisen metsäteknologian tutkimusosaston, myöhemmin metsänkasvatuksen tutkimusosaston sekä Joensuun tutkimusaseman ja myöhemmin tutkimuskeskuksen, ja Ranskan kansallisen maatalouden tutkimuslaitoksen (INRA) Nancyn puuntutkimusryhmän yhteistyönä on toteutettu vuosina 1988–2000 monivaiheisia vertailevia tutkimuksia männyn ja kuusen ja Ranskan osalta lisäksi euroopanjalokuusen eli saksanpihdan tukkirunkojen ulkoisen laadun ja puuaineen fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien objektiiviseksi vertailemiseksi. Tukkirunkojen ulkoista laatua tarkasteltiin järeyden, runkomuodon, sahapuuosuuden ja tukkivähennyksen perusteella ja puuaineen ominaisuuksia vuosiluston leveyden ja puuaineen tiheyden ja pienten virheettömien puunäytteiden staattisten mekaanisten

taivutusominaisuuksien perusteella (kimmokerroin MOE, lujuus MOR).

Mekaanisten ominaisuuksien ennustamiseksi laadittiin tilastotieteellisesti perusteltuja malleja, joissa voidaan hyödyntää lähtötietoina mekaanisia ominaisuuksia helpommin ja laajemmin aineistoin mitattavissa olevia puuaineen fysikaalisia ominaisuuksia, puuaineen sijaintitietoja rungon sisällä ja eräitä metsikkö- ja puukohtaisia tunnuksia. Lisäksi tutkittiin lujuuden ja kimmokertoimen suhteita lujuuslajittelun perusteiden kannalta.

Tässä artikkelissa esitellään näiden tutkimusten päätulokset kuusella ja fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien osalta myös jalokuusella suomenkieliselle lukijakunnalle suunnattuna. Kaikkia tutkittuja puulajeja koskevia tuloksia on julkaistu aiemmin englanninkielisinä referoiduissa julkaisusarjoissa (Verkasalo 1992, Verkasalo & Leban 1996, 2002) ja tieteellisten kokousten julkaisuissa (Verkasalo & Leban 1994, 2000).

5 Aineistot ja menetelmät

5.1 Metsiköt ja koepuut

Tässä artikkelissa esitettävät tulokset perustuvat tutkimuksen osapuolten yhteistyönä jo vuonna 1988 kerättyyn 70 tukkipuun empiiriseen aineistoon, 30 kpl kuusia Suomesta, 20 kpl kuusia Ranskasta ja 20 kpl jalokuusia Ranskasta. Taulukossa 1 on lueteltu keskimääräisiä yleistietoja koepuista. Tukkirunkoja koskevia tuloksia vertaillaan myös aikaisempien tutkimusten laajahkoista aineistoista (Nepveu ym. 1988a,b), Suomen valtakunnan metsien inventointien aineistoista (Kuusela & Salminen 1983, Kuusela ym. 1986) ja Ranskan valtion metsien inventoinnin aineistoista Itä-Ranskasta (Elsass) (ENGREF 1993) ja Suomen osalta lisäksi Rikkosen (1987) havutukkipuu- ja havutukkiaineistoista saatuihin tuloksiin.

Suomalaiset aineistot ovat Metsäntutkimuslaitoksen mailta Tuusulasta (metsikkö 1), Vilppulasta (metsikkö 2) ja Muhokselta (metsikkö 3). Metsiköt sijaitsivat vyöhykkeellä 60–65 astetta pohjoista leveyttä ja 24–25 astetta itäistä pituutta. Metsiköt olivat luontaisesti syntyneitä, säännöllisin harvennuksin käsiteltyjä, puulajipuhtaita hakkuukypsiä tai lähellä hakkuukypsyyttä olleita kuusikoita. Kasvupaikan viljavuus kattoi kuusikoiden yleiset vaihtelurajat Suomen eteläosassa. Korkeus merenpinnasta oli kaikissa metsiköissä alle 200 m. Kustakin metsiköstä valittiin 10 kaatokoepuuta kuusitukkipuiden rinnankorkeusläpimittajakauman alueelta kirjaamalla metsikön ohuin ja paksuin kuusitukkirunko, jakamalla tämä väli 10 yhtä laajaan läpimittaluokkaan ja arpomalla kustakin luokasta yksi koepuu. Otantamenetelmä mahdollisti tutkimuksen tavoitteet huomioon ottaen riittävän vaihtelun vuosiluston leveydessä runkojen välillä ja niiden sisällä erityisesti puuaineen mekaanisten ominaisuuksien ennustemallien laadinnan kannalta.

Ranskalaiset aineistot ovat sikäläisen valtion metsähallinnon (OFN) mailta Itä-Ranskasta (Elsass). Tämä alue edustaa vaihteluineen verraten hyvin keskieuropa-

Taulukko 1. Koepuiden ominaisuuksien aritmeettisiä keskiarvoja, Suomessa metsiköittäin ja Ranskassa yhteensä.

	Suomi				Ranska	
	Kuusi M1	Kuusi M2	Kuusi M3	Kaikki	Kuusi	Jalokuusi
N, kpl	10	10	10	30	20	20
Kasvupaikkaluokka	MT+	MT-	VMT			
Kantoikä, vuotta	73	132	109	105	73	95
Rinnankorkeusläpimitta, cm	29,0	23,8	24,3	25,7	26,6	25,5
Pituus, m	25,1	21,0	16,5	20,8	22,1	21,3
Kapeneminen, mm/m	8,7	6,9	13,7	9,8	10,3	15,4
Kapenemisindeksi	0,862	0,868	0,725	0,818	0,826	0,788
Rungon tilavuus, dm ³	886	534	362	594	745	674
Sahatukkiosan pituus, m						
Läpimitan mukaan	16,7	11,3	7,6	11,8	13,7	12,0
Läpimitan ja laadun mukaan	16,3	11,3	7,6	11,7	12,0	10,4
Sahatukkiosan tilavuus, dm ³						
Läpimitan mukaan	816	450	287	518	677	593
Läpimitan ja laadun mukaan	807	450	287	515	628	546
Sahatukkiosan osuus rungon tilavuudesta, %						
Läpimitan mukaan	92	84	79	87	91	88
Läpimitan ja laadun mukaan	91	84	79	87	84	81

laista kuusen ja jalokuusen tukkipuustoa. Metsiköt sijaitsivat vyöhykkeellä 48–50 astetta pohjoista leveyttä ja 5–7 astetta itäistä pituutta. Kasvupaikkaluokkajakauma kattoi kuusikoiden tyypilliset kasvupaikat Ranskassa. Korkeus merenpinnasta oli 100–800 m. Suurin osa metsiköistä oli nopeakasvuisia istutuskuusikoita viljavilta kasvupaikoilta. Kustakin metsiköstä otettiin aineistoon vain rinnankorkeusläpimitan mukainen mediaanipuu. Suomessa toteutetusta otannasta poikkeava menettely johtui tarpeesta mahdollistaa vaihtelua aineiston vuosiluston leveydessä tilanteessa, jossa suurta metsiköiden sisäistä vaihtelua ei oletettu voitavan saada kohdentamalla otanta vain muutamaan metsikköön.

Kaatokoepuiksi hyväksyttiin sekä Suomessa että Ranskassa vain sellaisia kuusi- ja jalokuusirunkoja, josta oli mahdollista saada yksi aineiston keruun ajankohtana Suomessa voimassa olleet kuusisahatukkien yleiset kaupalliset mitta- ja laatuvaatimukset täyttävä tukki. Sahatukin kuorellinen minimiläpimitta oli 16 cm ja minimipituus 4,3 m. Laatuvaatimuksista otettiin huomioon ensisijaisesti suurimmat oksan paksuudet oksalajeittain. Ne olivat seuraavat tukin eri latvaläpimittaluokissa:

Tukin latva- läpimitta, cm	Elävä oksa	Kuollut oksa, pystyoksa	Laho oksa
	Suurin sallittu läpimitta, cm		
– 19,9	4	3	3
20,0 – 27,9	5	4	3
28,0 –	6	5	3

Kaatokoeputien mittaus- ja arviointimenetelmät olivat samat Suomessa ja Ranskassa. Kustakin kaadetusta koepuusta kirjattiin ikä kannosta ja rinnankorkeudelta otetusta kairanlastusta (a), läpimitat 1,3 m:n ja 6 m:n korkeuksilta (mm), rungon pituus (dm), tukkiosan pituus edellä kuvattujen mittavaatimusten ja mitta- ja laatuvaatimusten mukaisesti (dm) ja tukkiosan paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimitta (mm). Rungon ja edellä kuvatusti määriteltyjen tukkiosien kuorelliset tilavuudet laskettiin kuusen polynomisella runkokäyräfunktiolla (splini) puun pituuden ja 1,3 m:n, 6 m:n ja 8,5 m:n läpimittojen perusteella (Lahtinen & Laasasenaho 1979). Rungon muodon kuvaamiseksi laskettiin absoluuttinen kapeneminen (läpimittojen erotus 1,5 m:n ja 6,0 metrin korkeuksilta tehtyjen mittausten välillä, mm/m) että kapenemisindeksi (läpimittojen suhde 6,0 metrin ja 1,3 metrin korkeuksilta tehtyjen mittausten välillä).

Kustakin koepuusta sahattiin yhden metrin pölkyt korkeuksilta 1–2 m (tyvitukkiosa), 5,5–6,5 m (välitukkiosa) ja 8–9 m (latvatukkiosa) ja pölkkyjen katkaisukohdista mitattiin kuorelliset läpimitat. Pölkkyjä tarvittiin puuaineen fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien laboratoriomittauksissa tarvittavien pienten virheettömien puunäytteiden valmistamiseen.

5.2 Puunäytteet ja mekaanisten ominaisuuksien mittaukset

Kaatokoeputista saatuista pölkkyistä tehtiin dimensioiltaan 2 cm * 2 cm * 34 cm virheettömiä puunäytteitä staattisen kimmokertoimen ja lujuuden testaamiseksi taivutuksessa laboratorio-oloissa. Jokaisesta pölkystä tehtiin näytteet läheltä pituudensuuntaista keskikohtaa. Näytteitä tehtiin kolmesta eri kohdasta pölkyn säteen suunnassa: 1) nuorpuusta eli 20 sisimmän vuosirenkaan alueelta, 2) normaalista sydänpuusta eli kuolleesta puuaineesta 20 sisimmän vuosirenkaan ulkopuolelta, 3) pintapuusta eli elävästä puuaineesta läheltä vaippapintaa. Kaikkiaan kokeisiin saatiin 179 kuusinäytettä Suomesta, 118 kuusinäytettä Ranskasta ja 115 jalokuusinäytettä Ranskasta.

Ennen kokeita näytteiden kosteussuhde eli veden massa suhteessa puuaineen kuivamassaan vakioitiin tasolle 12 % ilmastointikaapissa (ilman suhteellinen kosteus 65 %, lämpötila 20 °C). Kustakin näytteestä mitattiin tiheys mittaushetken kosteustilassa ja määritettiin vuosilustojen lukumäärä ja ensimmäisen luston ikä ytimeistä laskettuna. Taivutusimmokerroin eli MOE mitattiin nelipistekuormitusmenetelmällä (ISO-standardi 3349/1975) ja taivutuslujuus eli MOR kolmipistekuormitusmenetelmällä (ISO-standardi 3133/1975). Näytteelle edellä kuvatulla tavalla määritellyn puuaineen

iän, näytteelle lasketun puuaineen vuosiluston leveyden ja mitatun puuaineen tiheyden sekä kimmokertoimen ja lujuuden vaihtelua analysoitiin Studentin t-testeillä ja varianssi- ja kovarianssianalyysillä. Kimmokertoimen ja lujuuden ennustemallit laadittiin yhden ja useamman muuttujan lineaarisella regressioanalyysillä. Kimmokertoimen ja lujuuden riippuvuussuhteita analysoitiin myös regressioanalyysillä.

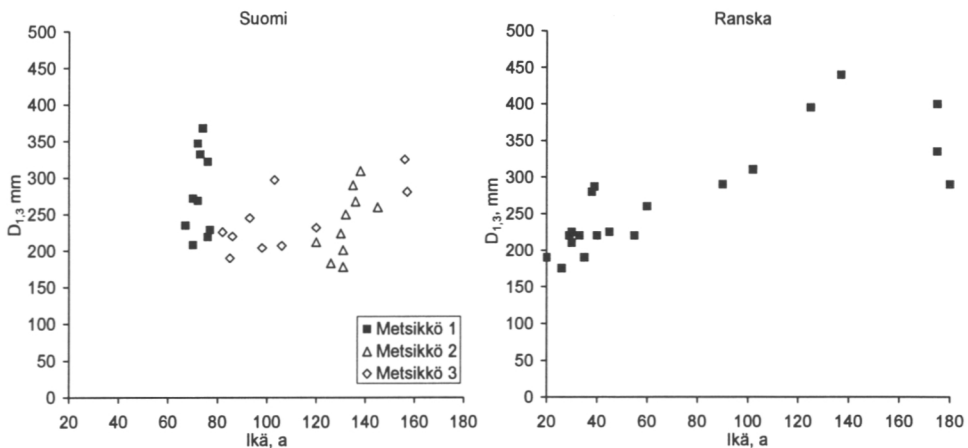
6 Tulokset ja niiden tarkastelu

6.1 Rungon teknillinen laatu

6.1.1 Rungon dimensiot ja muoto

Rungon ja tukin dimensiot vaikuttavat olennaisesti ja välittömästi sahatavaran saantoon ja välillisesti sahatavaran laatuun myös kuusella. Empiirisestä aineistosta määritetyt kuusen kaatokoepuiden rinnankorkeusläpimitat suhteessa ikään Suomessa ja Ranskassa ilmenevät kuvasta 1. Suomessa metsiköt 1 ja 2 olivat kuusikoiksi suhteellisen tasaikäisrakenteisia mutta metsikkö 3 eri-ikäisrakenteinen. Seurauksena tästä sekä nuorimman metsikön viljavasta ja vanhimman metsikön verraten karusta kasvu- paikasta koepuiden läpimitan ja iän riippuvuus ei ollut oletetun positiivinen koko aineistossa, joskin metsiköiden sisällä riippuvuus oli havaittavissa. Ranskassa koepuiden läpimitan ja iän välillä oli selvä positiivinen riippuvuus kaikkein vanhimpia, luontaisesti syntyneiden vuoristokuusikoiden koepuita lukuun ottamatta.

Suomen ja Ranskan aineiston erilainen läpimitan ja iän riippuvuussuhde vaikeutti luonnollisesti tulosten tulkintaa. Ranskassa kuusitukkipuut olivat selvästi nuorem- masta iästään (73 vs. 105 vuotta) huolimatta keskimäärin suurempia rinnankorkeus- läpimitaltaan (+4 %) ja tilavuudeltaan (+25 %) kuin Suomessa (taulukko 1). Syy



Kuva 1. Kuusitukkipuiden rinnankorkeusläpimitat iän mukaan Suomessa ja Ranskassa.

tähän on epäilemättä eroissa kasvuoloissa sekä kasvukauden pituuden että kasvupaikan viljavuustason suhteen. Tuottamattomien ja heikosti tuottavien maapohjien voimakas metsittäminen Ranskassa toisen maailmansodan jälkeen painottui paljon kuuseen ja viime aikoina myös douglaskuuseen, mikä ilmenee keski-ikäisten ja hakkuukypsyyttä lähestyvien istutuskusikoiden nykyisenä runsautena.

Kuusten rinnankorkeusläpimitta on Itä-Ranskassa Nepveun ym. (1988b) tutkimuksen mukaan keskimäärin 10 % ja metsäinventointien tulosten vertailun mukaan keskimäärin 23 % suurempi kuin Suomen eteläosassa, vaikka puiden keski-ikässä on monen kymmenen vuoden päinvastainen ero (taulukko 2). Tässä tutkimuksessa kuusten rinnankorkeusläpimitta oli Suomessa vain hieman korkeampi mutta Ranskassa vastavasti selvästi pienempi kuin Nepveun ym. (1988b) tutkimuksessa ja metsäinventoinneissa. Täten tässä tutkimuksessa aliarvioitiin Suomen ja Ranskan välistä eroa sekä järeydessä että siihen sidoksissa olevissa puun koko- ja laatekijöissä.

Rungon ja tukin muodolla on huomattava vaikutus sahatavaran saantoon. Rungon absoluuttinen kapeneminen 1,3 m:n korkeuden ja 6 m:n korkeuden välillä, mistä saadaan arvokkaimmat tyvitukit, oli tässä tutkimuksessa keskimäärin samaa suuruusluokkaa Suomessa ja Ranskassa, joskin kapeneminen oli Suomen kahdessa eteläisimmässä kuusikossa pienempää ja pohjoisimmassa kuusikossa suurempaa kuin

Taulukko 2. Kuusitukkipuiden rinnankorkeusläpimitan aritmeettisia keskiarvoja Suomessa ja Ranskassa kirjallisuustietojen mukaan.

	N	Ikä, a	Rinnankorkeusläpimitta, cm
		Suomi *	
Etelä	373	104	26,7
Pohjoinen	...	...	...
Koko maa	373	104	26,7
		Itä-Ranska *	
Hakkuukypsät metsiköt	123	76	36,3
Harvennusemetsiköt	148	34	23,9
Kaikki	271	53	29,5
		Suomi **	
Etelä			24,9
Pohjoinen			24,6
Kaikki			24,9
		Ranska ***	
Kaikki			30,6

* Nepveu ym. (1988b)

** 7. valtakunnan metsien inventointi (Kuusela & Salminen 1983, Kuusela ym. 1986)

*** Ranskan valtion metsien inventointi 1990-91, Elsass (ENGREF 1993)

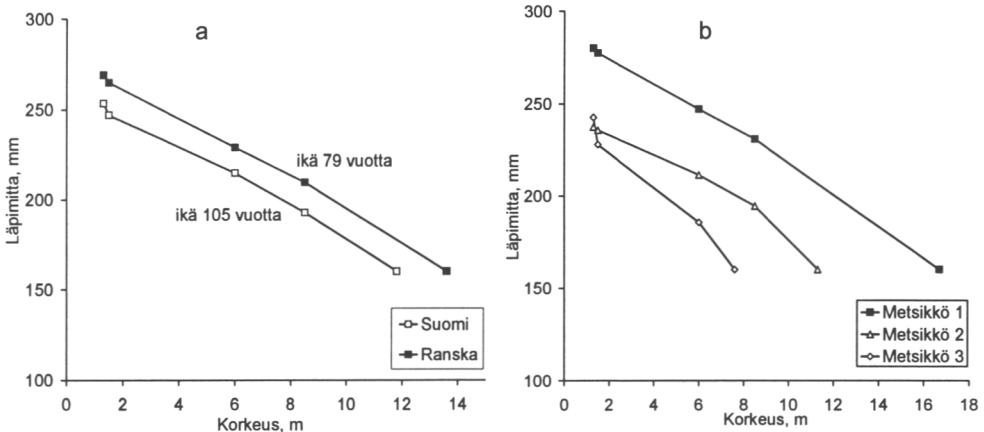
Ranskassa keskimäärin (taulukko 1). Rungon kapenemisindeksiä koskevat tulokset olivat samansuuntaisia.

Rinnankorkeuslähimittan vakioinnin jälkeenkään ei Suomen ja Ranskan kuusten välillä ollut eroa kummallakaan tavalla määritellyssä kapenemisessä koko aineistossa. Tässäkin tarkastelussa kapeneminen oli Suomessa kuitenkin pienempää kuin Ranskassa jätettäessä Suomen pohjoisin kuusikko tarkastelun ulkopuolelle. Ranskassa kapeneminen voimistui säännönmukaisesti rinnankorkeuslähimittan kasvaessa ($R^2 = 0,367$, $SE = 3,6$), Suomessa vaikutus oli kyseenalainen ($R^2 = 0,107$, $SE = 3,3$). Kapenemisindeksin ja lähimittan välillä ei ollut riippuvuutta kummassakaan maassa ($R^2 < 0,1$). Seurauksena rungon kapenemisen ja järeyden positiivisesta korrelaatiosta ja Suomen ja Ranskan kuusen järeyseron ilmeisestä aliarvioinnista myös eroa kapenemisessä todennäköisesti aliarvioitiin tässä tutkimuksessa.

Runkomuotoa voidaan tarkastella myös runkokäyrien perusteella, jotka on laadittu eri korkeuksilta mitattujen lähimittojen perusteella. Kuvassa 2 on esitetty aineiston kuusten keskimääräiset runkokäyrät sahatukin minimilähimittaa vastaavalle korkeudelle, Suomessa metsiköittäin ja yhteensä ja Ranskassa yhteensä. Suomessa keskimääräinen runkokäyrä oli kuuden metrin korkeuteen asti kapenemiserojen mukaisesti loivempi mutta tästä ylöspäin pituuserojen mukaisesti jyrkempi kuin Ranskassa. Tässäkin pohjoisin kuusikko poikkesi varsin selvästi kahdesta muusta kuusikosta Suomessa.

6.1.2 Tukkiosan dimensiot ja tukkiosuus

Pelkin dimensiorajoittein Suomen ja Ranskan kuusten keskimääräiset erot tukkiosan pituudessa, tilavuudessa ja tilavuusosuudessa olivat lähes samalla tasolla kuin rungon tilavuudessa (taulukko 1). Täten suomalaisten kuusten tyviosan pienemmän kapenemisen ja keski- ja latvaosan suuremman kapenemisen vaikutukset osapuilleen peittivät toisensa. Kun myös laaturajoitteet otettiin huomioon, Suomen ja Ranskan



Kuva 2. Kuusitukkipuiden keskimääräiset runkokäyrät Suomessa ja Ranskassa (a) ja Suomessa metsiköittäin (b).

kuusten keskimääräinen ero oli pienempi kuin edellisessä tarkastelussa. Sahatukkiosan pituudessa maiden välinen ero ei ollut kovarianssianalyysin mukaan merkitsevä, kun rinnankorkeusläpimitta vakioitiin ($p=0,554$). Tähän viittasivat myös lineaarisella regressioanalyysillä laaditut maittaiset mallit, joiden mukaan samassa rinnankorkeusläpimitassa kuusen tukkiosan pituus oli dimensiorajoittein Ranskassa keskimäärin vain noin 0,5 m pitempi kuin Suomessa (kuva 3). Tässäkin on huomattava, että Suomessa tutkittujen kuusikoiden väliset erot olivat varsin suuret. Maittain laaditut ennustemallit olivat seuraavat:

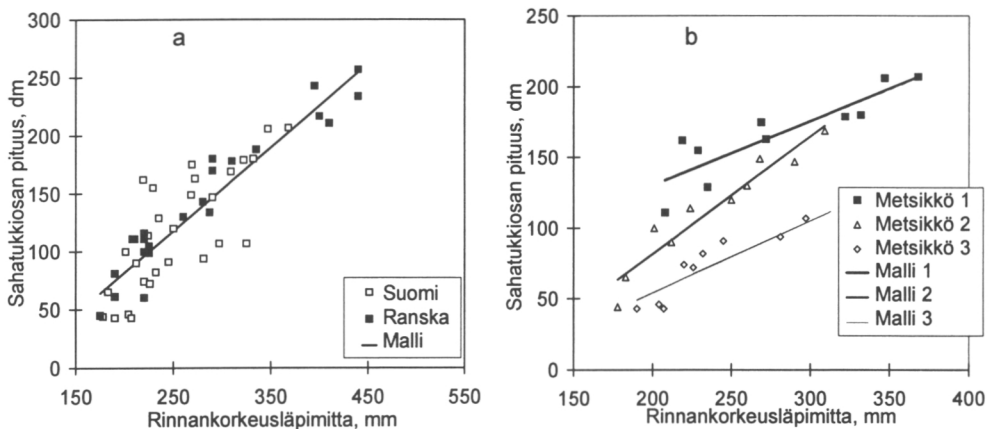
Suomi	$y = -67,4 + 0,733 x$	$R^2 = 0,598$	$SE = 31,6$
Ranska	$y = -69,5 + 0,765 x$	$R^2 = 0,927$	$SE = 16,7$
Suomi ja Ranska	$y = -62,3 + 0,721 x$	$R^2 = 0,783$	$SE = 26,3$

y = sahatukkiosan pituus dimensiorajoittein, dm
 x = rinnankorkeusläpimitta, mm
 R^2 = selitysaste
 SE = estimaatin keskivirhe, dm

Suomen ja Ranskan kuusten välillä ei ollut merkitsevää eroa tukkiosan pituudessa tai tilavuudessa myöskään vakioitaessa sekä rinnankorkeusläpimitta että pituus, tosin tässä analyysissä oli pohjana vain vähän havaintoja.

Vastaavat maittaiset ennustemallit laadittiin myös tukkiosan pituudelle laaturajoittein:

Suomi	$y = -60,8 + 0,703 x$	$R^2 = 0,574$	$SE = 31,7$
Ranska	$y = -14,6 + 0,492 x$	$R^2 = 0,712$	$SE = 27,4$
Suomi ja Ranska	$y = -25,4 + 0,548 x$	$R^2 = 0,780$	$SE = 35,0$



Kuva 3. Kuusitukkipuiden tukkiosan pituus dimensiorajoittein rinnankorkeusläpimitan mukaan Suomessa ja Ranskassa (a) ja Suomessa metsiköittäin (b).

y = sahatukkiosan pituus dimensio- ja laaturajoittein, dm

x = rinnankorkeusläpimitta, mm

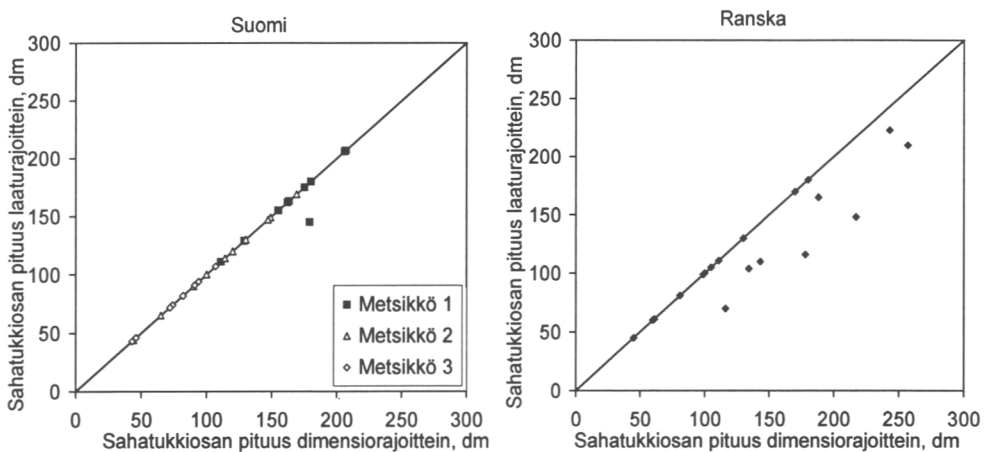
R^2 = selitysaste

SE = estimaatin keskivirhe, dm

Edellisiä maittaisia ennustemalleja sovellettiin myös edellä käsiteltyihin metsäninventointien aineistoihin. Näiden mukaan ero kuusten tukkiosan keskimääräisessä pituudessa oli erittäin suuri Ranskan hyväksi dimensiorajoittein, 16,5 m vs. 11,5 m, mutta huomattavasti pienempi ottaen huomioon myös laaturajoitteet, 13,6 m vs. 11,4 m.

Sahatukin keskimääräinen osuus kuusirungon tilavuudesta dimensiorajoittein oli tässä tutkimuksessa Suomessa 87 % (metsiköittäinen vaihtelu 79–91 %) ja Ranskassa 91 % (taulukko 1). Laaturajoitteiden huomioon ottaminen vähensi tukin tilavuusosuutta Suomessa vain 1 %-yksiköllä mutta Ranskassa 7 %-yksiköllä, joten näin tarkastellen maiden välinen ero oli päinvastainen. Ranskalaisten kuusten suhteellinen nuoruus ja viljavammat kasvupaikat olivat yhtenä syynä niiden suurempaan, voimakkaammasta oksikkuudesta johtuvaan tukkivähennykseen suomalaisiin kuusiin verrattuna. Suomessa on saatu aiemminkin tämänsuuntaisia tuloksia (esim. Rikonen 1970, ks. myös Laasasenaho 1975, Ahonen & Mäkelä 1995, Tolkki & Saramäki 1997).

Kuusten sahatukkiosan laatua tutkittiin myös tarkastelemalla korrelaatiota yksittäisen rungon dimensiorajoittein ja dimensio- ja laaturajoittein määriteltyjen tilavuuksien välillä Suomessa ja Ranskassa (kuva 4). Jos korrelaatiokerroin oli yksi, koko tukkiosa dimensiorajoittein täytti myös tukin laatuvaatimukset. Tutkituista kuusista täytti tämän vaatimuksen Suomessa 97 % mutta Ranskassa vain 60 %. Pienissä läpimittaluokissa ei ilmennyt eroa maiden välillä, mutta järeissä luokissa ero suomalaisten kuusten hyväksi oli selvä. Kuitenkin todella hyvää laatua esiintyi molemmissa maissa. Suomessa laaturajoitteiden aiheuttamaa tukkivähennystä ilmeni vain eteläisimmässä, viljavimman kasvupaikan kuusikossa.



Kuva 4. Korrelaatiot kuusitukkipuiden tukkiosan dimensio- ja laaturajoitteiden ja pelkkien dimensiorajoitteiden perusteella määritellyn tilavuuden välillä Suomessa ja Ranskassa.

6.1.3 Vuosiluston leveys rungossa

Puuaineen vuosiluston leveys ja sen tasaisuus ovat verraten hyviä ja helposti määritettäviä kuusen laadun indikaattoreita sahatavaran valmistusta ajatellen. Lustonleveyden ja sen vaihtelun kasvu viittaavat puuaineen laadun heikentymiseen. Kuitenkin voidaan tehdä vain verraten laiveita yleistyksiä lustonleveyden vaikutuksista esimerkiksi puuaineen tiheyteen (esim. Kärkkäinen 1985). Hyvin nopeasti kasvaneen puuaineen tiheys on kuusella todennäköisesti alhainen verrattuna hitaasti kasvaneeseen puuaineeseen. Kuusi tuottaa normaalisti tiheydeltään parasta puuainetta tavanomaisella kasvunopeudellaan. Korkea tiheys voi kasvunopeudesta riippumatta syntyä myös riittävän korkean kesäpuun osuuden ansiosta.

Kuten on todettu monissa tutkimuksissa, erityisesti kuusen vuosilustot ovat lauhkeassa ilmastovyöhykkeessä leveämmät kuin pohjoisessa. Tämä ilmeni selvästi myös tässä tutkimuksessa, jossa laskettiin arvio vuosiluston leveydelle rinnankorkeudella kuorellisen läpimitan ja kannonkorkeudelta määritetyn iän perusteella. Todellisen lustonleveyden arvioinnissa syntyy tällä määrittystavalla todennäköisesti virhettä, yhtäältä yliarviota kuoren mukaan ottamisen vuoksi ja toisaalta aliarviota vuosilustojen lukumäärän kannon korkeudelta määrittämisen vuoksi. Tässä tutkimuksessa testattiin virheen suuruutta suomalaisella kuusiaineistolla, joka oli aliarviota keskimäärin 0,13 mm eli 11 %. Aliarvio oli sitä suurempi mitä suurempi oli todellinen lustonleveys; erojen suunnat ovat vertailuissa kuitenkin oikeat.

Tässä tutkimuksessa kuusen vuosiluston keskimääräinen leveys oli Suomessa 1,2 mm ja Ranskassa 1,8 mm (taulukko 3). Suomen eteläisimmässä, viljavimman kasvupaikan kuusikossa lustonleveys oli kuitenkin samalla tasolla kuin Ranskassa keskimäärin. Muutamien hyvin korkeiden lustonleveyden havaintojen vuoksi vaihtelu runkojen välillä oli Ranskassa lähes kaksinkertainen Suomeen verrattuna. Suomessa metsiköiden sisäinen vaihtelu oli suurempi kuin niiden välinen. Tämä viittasi metsikön sisäiseen heterogeenisuuteen yksittäisten kuusten välillä latvuskerrosaseman ja/tai erilaisen geneettisen perimän vuoksi, koska kuusten iän vaihtelu metsikön sisällä oli pohjoisinta kuusikkoa lukuun ottamatta pientä.

Suomen kuusten keskimääräinen vuosiluston leveys oli tässä tutkimuksessa samalla tasolla kuin valtakunnan metsien inventointien (Kuusela ym. 1983, 1986) ja tukkitutkimusten (Rikkonen 1987) aineistoissa mutta kuitenkin 15 % pienempi kuin tyyppillisesti Etelä-Suomessa (taulukko 3). Täten aineiston kuusten kasvuolosuhteet olivat keskimääräistä heikommalla ottaen huomioon kuusikoiden verraten eteläinen sijainti.

Nepveun ym. (1988a,b) tätä tutkimusta suuremmassa aineistossa Suomen ja Ranskan kuusten ero rinnankorkeuden keskimääräisessä vuosiluston leveydessä laskettuna kuorellisen läpimitan ja vuosilustojen lukumäärän suhteena oli selvästi suurempi kuin tässä tutkimuksessa (taulukko 4). Ranskassa lustonleveys oli keskimäärin 3,0 mm eli 2,5-kertainen Suomeen verrattuna, jossa lustonleveys oli 1,3 mm. Ranskassa keskimääräinen lustonleveys oli päätehakkuikäisissä kuusikoissa 2,4 mm ja harvenushakkuikäisissä kuusikoissa 3,5 mm.

Tutkimusten tulokset perustuvat korostetusti nykyisiin kuusitukkipuustoihin. Suomessa nämä ovat vielä suurelta osin luontaisesti syntyneitä, joissa vuosilustot ovat

Taulukko 3. Kuusitukkipuiden puuaineen vuosiluston leveys rinnankorkeudella Suomessa ja Ranskassa tässä tutkimuksessa ja vertailu eräistä muista vastaavien alueiden aineistoista laskettuihin tuloksiin. Lustonleveys on laskettu kaikissa tapauksissa kuorellisen rinnankorkeusläpimitan ja kantojän perusteella.

	Ikä, a \bar{x}	Vuosiluston leveys, mm	
		\bar{x}	minimi – maksimi
Suomi			
Tämä tutkimus			
Metsikkö 1	73	1,93	1,44-2,49
Metsikkö 2	132	0,90	0,73-1,12
Metsikkö 3	109	1,12	0,89-1,44
Kaikki	105	1,21	0,73-2,49
7. valtakunnan metsien inventointi			
Etelä-Suomi	80	1,42	...
Pohjois-Suomi	138	0,74	...
Koko Suomi	91	1,29	...
Rikkonen (1970)			
Etelä-Suomi	95	1,4	...
Pohjois-Suomi	155	0,8	...
Koko Suomi	125	1,1	...
Ranska			
Tämä tutkimus			
Kaikki	73	1,82	0,81-4,75

Taulukko 4. Kuusitukkipuiden puuaineen vuosiluston leveys rinnankorkeudella Suomessa ja Ranskassa Nepveun ym. (1988b) mukaan. Lustonleveys on laskettu kuorellisen rinnankorkeusläpimitan ja rinnankorkeusiän perusteella.

	N	Ikä, a	Vuosiluston leveys, mm
Suomi			
Etelä-Suomi	373	104	1,29
Pohjois-Suomi	...	...	...
Koko Suomi	373	104	1,29
Itä-Ranska			
Hakkuukypsät metsiköt	123	76	2,39
Harvennusemetsiköt	148	34	3,51
Kaikki	271	53	3,00

huomattavasti ohuempia kuin viljelykuusikoissa (Hakkila & Uusvaara 1968). Ranskassa syntyvän vaikutus lustonleveyteen lienee pienempi kuin Suomessa. Ranskassa viljellyt kuusikot (ja douglaskuusikot) tuottavat jo nyt huomattavia määriä tukkipuuta, Suomessa tämä on odotettavissa kuusikoissa vasta 20–30 vuoden kuluttua. Seurauksena suomalaisen ja keskieuropalaisen kuusen erot lustonleveydessä ilmeisesti pienenevät tulevaisuudessa.

6.2 Puuaineen mekaaniset ominaisuudet

6.2.1 Kimmokertoimen ja lujuuden vaihtelu

Kuusen puuaineen keskimääräinen kimmokerroin ja lujuus taivutuksessa olivat Suomessa selvästi ja tilastollisesti merkitsevästi korkeammat kuin Ranskassa (taulukko 5). Suomessa näytteiden vuosiluston leveys oli oletusten mukaisesti pienempi ja puuaineen ikä ytimeistä laskettuna korkeampi kuin Ranskassa. Suomessa keskimääräinen kimmokerroin oli 10–15 % alhaisempi mutta lujuus samalla tasolla kuin aiemmissa luontaisesti syntyneen kuusen sahapuuraaka-ainetta koskeneissa tutkimuksissa (Jalava 1945, ks. myös Kärkkäinen 1985). Tämä johtui ilmeisesti kohdennetusta ja verratun pienestä otoksesta, tosin Suomen kuusitukkipuusto ei ole nykyisin myöskään yhtä järeää kuin 1900-luvun puolivälissä (nuoremmat puustot, nopeakasvuisempi puu).

Ranskassa kuusen ja jalokuusen keskimääräiset kimmokertoimet ja lujuudet olivat alhaisempia kuin yleistyksen kirjallisuudessa. Wagenführ (1996) on esittänyt keskieurooppalaiselle kuuselle ja jalokuuselle keskimääräisen kimmokertoimen 11 GPa ja keskimääräiset lujuudet 78 ja 73 MPa ja lisäksi hyvin laajat vaihtelurajat ominaisuuksissa. Tässä tutkimuksessa keskimääräiset kimmokertoimet olivat 4–9 % ja lujuudet 18–24 % edellä mainittuja lukuja alhaisempia, mutta puulajien väliset erot olivat oletusten mukaiset.

Taulukko 5. Suomen ja Ranskan kuusi- ja jalokuusinäytteiden puuaineen ikä ytimeistä laskettuna, vuosiluston leveys ja tiheys (kosteussuhde 12 %) sekä kimmokerroin (MOE) ja lujuus (MOR) taivutuskokeissa.

	Suomi		Ranska		t-testi	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t_{hav}	p
Ikä, a						
Kuusi	34	27	27	31	2,042	0,042
Jalokuusi	...	...	32	28	...	...
Molemmat	34	27	29	29	1,679	0,094
Vuosiluston leveys, mm						
Kuusi	1,76	0,95	4,93	3,34	-10,035	0,000
Jalokuusi	...	...	4,03	2,39	...	...
Molemmat	1,76	0,95	4,48	2,94	-13,276	0,000
Tiheys, kg/m ³						
Kuusi	470,2	42,1	418,6	71,0	7,087	0,000
Jalokuusi	...	...	462,5	59,7	...	...
Molemmat	470,2	42,1	440,3	69,2	5,401	0,000
MOE, MPa						
Kuusi	12 872	2 650	10 035	2 677	8,861	0,000
Jalokuusi	...	...	10 515	2 572	...	...
Molemmat	12 872	2 650	10 273	2 669	9,899	0,000
MOR, MPa						
Kuusi	82,3	14,8	58,9	13,8	13,883	0,000
Jalokuusi	...	...	59,5	12,6	...	...
Molemmat	82,3	14,8	59,2	13,2	16,714	0,000

Kuusi ja jalokuusi lasketaan eurooppalaisessa puutavarakaupassa samaan sahatararyhmään. Suurin osa jalokuusen sahapuusta on nykyisin vanhoissa ikäluokissa, kun taas kuusitukkipuuta on saatavilla sekä verraten nuorista istutusmetsistä että vanhoista luontaisesti syntyneistä metsistä. Tämä voitiin nähdä myös tämän tutkimuksen tuloksista, koska Ranskassa kuusella oli selvästi suurempi vuosiluston leveys ja alhaisempi puuaineen ikä ja tämän mukaisesti alhaisempi tiheys, kimmokerroin ja lujuus kuin jalokuusella. Myös ominaisuuksien vaihtelu oli kuusella suurempaa kuin jalokuusella (vrt. Wagenführ 1996).

Puulajikohtaiset virheettömän puuaineen tiheyden, kimmokertoimen ja lujuuden variaatiokertoimet ovat tuoreena ja ilmakeivana keskimäärin 10 %, 22 % ja 16 % (Forest Products... 1987). Tässä tutkimuksessa variaatiokertoimet vaihtelivat puulajin ja maan mukaan tiheydellä välillä 9–17 %, kimmokertoimella välillä 21–27 % ja lujuudella välillä 18–23 %. Ranskassa vaihtelu oli kattavamman metsikköotoksen vuoksi paljon suurempaa kuin Suomessa.

Rungon ytimen ympäristössä esiintyvässä nuorpuussa on leveämmät vuosilustot, alkaisempi tiheys ja heikommat mekaaniset ominaisuudet kuin sen ulkopuolella esiintyvässä aikuispuussa (taulukko 6). Tämä ilmeni tässä tutkimuksessa Suomen ja Ranskan kuusten mekaanisten ominaisuuksien erojen kasvuna ja erojen tilastollisen merkitsevyyden voimistumisena ryhmittelemällä aineisto laskennassa puuaineen iän perusteella, vaikka ryhmittelyn vaikutus eroihin puuaineen iässä oli päinvastainen. Nuorpuussa keskimääräinen kimmokerroin ja lujuus olivat 14–20 % alemmat kuin aikuispuussa.

Yksittäisten runkojen puuaineen fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien ero-

Taulukko 6. Suomen ja Ranskan kuusinäytteiden nuor- ja aikuispuun puuaineen ikä ytimeistä laskettuna, vuosiluston leveys ja tiheys (kosteussuhde 12 %) sekä kimmokerroin (MOE) ja lujuus (MOR) taivutuskokeissa.

	Suomi		Ranska		t-testi	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	t_{hav}	p
Ikä, a						
Nuorpuu	11,4	3,6	11,3	6,6	0,193	0,848
Aikuispuu	54,1	23,1	42,8	36,9	2,099	0,039
Vuosiluston leveys, mm						
Nuorpuu	2,11	1,11	5,77	3,24	-8,407	0,000
Aikuispuu	1,44	0,62	4,05	3,24	-6,063	0,000
Tiheys, kg/m ³						
Nuorpuu	458,7	39,6	396,6	55,3	7,450	0,000
Aikuispuu	480,6	42,7	441,4	78,5	3,497	0,001
MOE, MPa						
Nuorpuu	11 819	2 493	8 920	2 148	7,484	0,000
Aikuispuu	13 825	2 369	11 190	2 841	3,497	0,001
MOR, MPa						
Nuorpuu	75,8	13,7	53,4	12,1	10,375	0,000
Aikuispuu	88,2	13,3	64,6	13,2	10,673	0,000

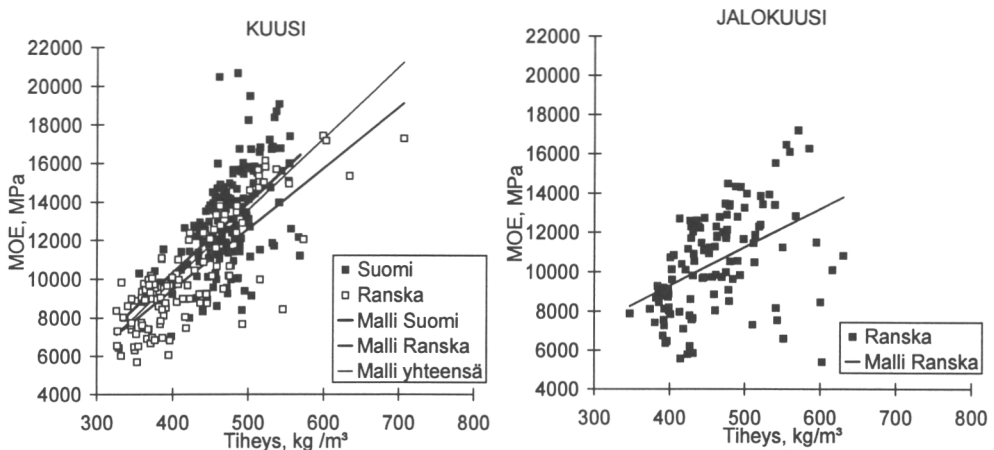
ja testattiin suomalaisessa kuusiaineistossa varianssianalyysillä. Tulokset vaihtelivat jossain määrin metsiköittäin. Erot olivat merkitseviä tiheydessä ($p=0,000$) sekä kimmokertoimessa ja lujuudessa ($p=0,006$ ja $0,004$) ja metsikössä 2 vuosiluston leveydessä ja kimmokertoimessa ($p=0,004$ ja $0,074$). Kun näytteen säteensuuntainen sijainnin kaikissa tapauksissa merkitsevä vaikutus ($p=0,000$) otettiin huomioon, runkojen väliset erot olivat edelleen merkitseviä ($p=0,000-0,019$), lukuun ottamatta lujuutta metsikössä 3 ($p=0,226$).

Kaikkien Suomen ja Ranskan yksittäisten runkojen välillä tehdyt varianssianalyysit osoittivat tilastollista merkitsevyyttä ($p=0,000-0,044$). Näytteen säteensuuntaisen aseman huomioon ottaminen ei myöskään muuttanut tuloksia ($p=0,000-0,097$). Ranskan jalokuusella ei ilmennyt säteensuuntaista vaikutusta. Metsiköiden sisäiset erot viittaavat erilaisiin ilmastollisiin, metsänhoidollisiin, geneettisiin ja/tai ravinnetilan muutosten vaikutuksiin.

Nuor- ja aikuispuun fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien eroja testattiin edelleen kaksisuuntaisella varianssianalyysillä rungon säteensuuntaisen ja pituussuuntaisen aseman vaikutusten tarkastelemiseksi maittain ja puulajeittain. Säteensuuntaisen aseman vaikutukset olivat Suomen ja Ranskan kuusella merkitsevät ($p=0,000$) mutta Ranskan jalokuusella ei-merkitsevät ($p=0,697-0,885$). Pituussuuntaiset vaikutukset olivat ei-merkitseviä.

6.2.2 Kimmokertoimen ja lujuuden ennustemallit

Kimmokerrointa voitiin ennustaa lineaarisella regressioanalyysillä vaihtelevalla menestyksellä puuaineen tiheyden perusteella (kosteussuhde 12 %) puulajista ja maasta riippuen: selitysaste vaihteli välillä $0,21-0,67$ ja jäännöshajonta välillä $1600-2300$ MPa ($14-22$ %) (taulukko 7). Ennustaminen oli menestyksellisintä ranskalaisella kuusella ja vähiten menestyksellistä jalokuusella. Kimmokerroin oli vakiotiheydessä



Kuva 5. Kuusen ja jalokuusen tukkipuiden puuaineen kimmokertoimen (MOE) ja tiheyden (kosteussuhde 12 %) riippuvuussuhteet Suomessa ja Ranskassa taivutuksessa lineaarisen regressioanalyysin mukaan.

Taulukko 7. Yhden ja useamman selittävän muuttujan lineaariset regressiomallit kuusen ja jalokuusen puuaineen taiputusimmokertoimelle (MOE, MPa) Suomessa ja Ranskassa.

Puulaji Maa	Malli	N	R ²	RMSE, MPa
MOE = f (tiheys, kg/m ³)				
Kuusi:				
Suomi	Y = -4208,0 + 36,3X	179	0,348	2122,5
Ranska	Y = -3168,9 + 31,5X	119	0,665	1597,3
Molemmat	Y = -4877,4 + 37,0X	297	0,563	1993,5
Jalokuusi:				
Ranska	Y = 1454,0 + 19,6X	115	0,207	2301,7
Kuusi ja jalokuusi:				
Ranska	Y = - 770,4 + 25,1X	233	0,423	2032,3
Molemmat	Y = -2713,7 + 31,1X	412	0,415	2253,8
MOE = f (tiheys, kg/m ³ X ₁ ; vuosiluston leveys, mm X ₂ ; puuaineen ikä, a X ₃)				
Kuusi:				
Suomi	Y = -1730,8 + 30,7X ₁ - 214,4X ₂ + 16,3X ₃	179	0,383	2070,4
Ranska	Y = - 583,5 + 26,8X ₁ - 141,9X ₂ + 3,6X ₃	118	0,682	1553,0
Molemmat	Y = - 905,3 + 28,9X ₁ - 212,3X ₂ + 9,0X ₃	297	0,595	1925,7
Jalokuusi:				
Ranska	Y = 4876,7 + 16,7X ₁ - 502,7X ₂ - 1,8X ₃	115	0,417	1990,1
Kuusi ja jalokuusi:				
Ranska	Y = 3732,8 + 17,6X ₁ - 299,3X ₂ + 0,8X ₃	233	0,487	1877,8
Molemmat	Y = 2958,6 + 21,2X ₁ - 404,6X ₂ + 4,7X ₃	412	0,522	2042,3

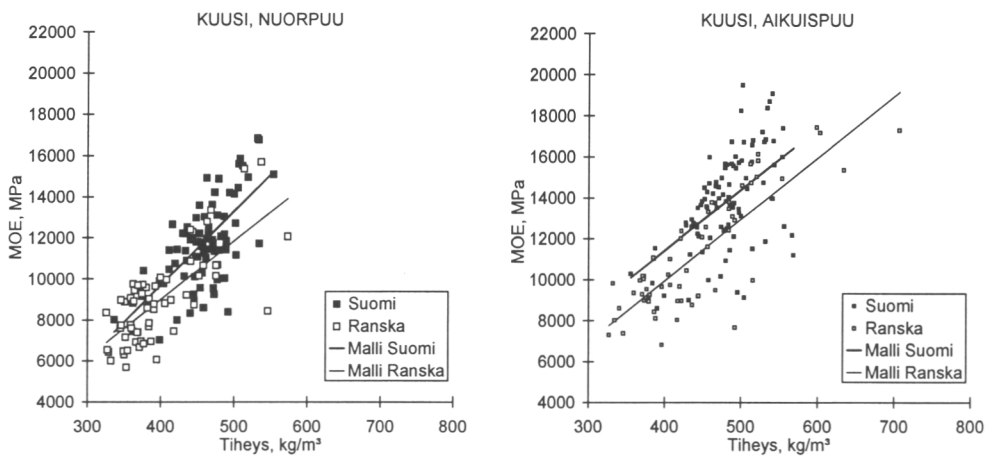
Suomessa jonkin verran ja kovarianssianalyysin mukaan merkitsevästi korkeammalla tasolla kuin Ranskassa, mutta tiheystaso ei vaikuttanut eron suuruuteen (kuva 5). Ennustemallien kulmakerroin poikkesi jalokuusella sekä Suomen että Ranskan kuusesta.

Vuosiluston leveyden ja puuaineen iän sisällyttäminen puuaineen tiheyden ohella selittäviin muuttujiin paransi hieman kimmokertoimen ennusteen tarkkuutta päätellen selitysasteen kasvusta (0,017–0,0210) ja jäännöshajonnan pienenemisestä (40–3100 MPa) (taulukko 7). Ennusteen tarkkuus parani lähinnä jalokuusella mutta pysyi lähes muuttumattomana kuusella, erityisesti Ranskassa.

Koska näytteen säteensuuntaisella asemalla oli merkitsevä vaikutus puuaineen mekaanisiin ominaisuuksiin, regressioanalyysit tehtiin erikseen kuusen nuor- ja aikuispuulle Suomessa ja Ranskassa maiden välisten erojen selventämiseksi vakiotiheydessä. Näissä analyyseissä selitysaste joko parani tai heikkeni lievästi mutta jäännöshajonta pieneni kaikissa tapauksissa (110–930 MPa) (taulukko 8).

Taulukko 8. Lineaariset regressiomallit kuusen nuor- ja aikuispuun taivutusimmokertoimelle (MOE, MPa) puuaineen tiheyden perusteella (kg/m^3 , kosteussuhde 12 %) Suomessa ja Ranskassa.

Maa	Malli	N	R^2	RMSE, MPa
Nuorpuu				
Suomi	$Y = -4006,5 + 34,1X$	83	0,417	1621,5
Ranska	$Y = -2305,9 + 28,3X$	60	0,531	1483,9
Aikuispuu				
Suomi	$Y = -453,0 + 29,7X$	94	0,287	2011,7
Ranska	$Y = -2045,4 + 30,0X$	58	0,687	1602,8



Kuva 6. Kuusitukkipuiden nuorpuun ja aikuispuun kimmokertoimen (MOE) ja tiheyden (kosteussuhde 12 %) riippuvuussuhteet Suomessa ja Ranskassa taivutuksessa lineaarisen regressioanalyysin mukaan.

Suomen ja Ranskan kuusen erot kimmokertoimessa vakiotiheydessä sekä ennustemallin kulmakertoimessa johtuivat paljolti nuorpuun vaikutuksesta (kuva 6). Aikuispuussa kulmakertoimet olivat lähes samat mutta kimmokerroin oli Suomessa vakiotiheydessä korkeammalla tasolla kuin Ranskassa. Suomen ja Ranskan kuusen nuorpuun ero suureni tiheyden kasvaessa, mutta aikuispuussa tiheys ei vaikuttanut tähän eroon.

Lujuutta voitiin selittää lineaarisella regressioanalyysillä heikommalla tarkkuudella kuin kimmokerrointa. Käytettäessä selittäjänä vain puuaineen tiheyttä (kosteussuhde 12 %) selitysaste vaihteli välillä 0,17–0,56 ja jäännöshajonta välillä 9–12 MPa (10–19 %), puulajista ja maasta riippuen (taulukko 9). Mallien selitysasteiden perusteella lujuuden ennustaminen oli suomalaisella kuusella menestyksellisempää kuin ranskalaisella. Lujuusero oli vakiotiheydessä selvä suomalaisen kuusen hyväksi, jopa suurempi kuin kimmokertoimessa, ja tiheyden kasvaessa ero suureni (kuva 7).

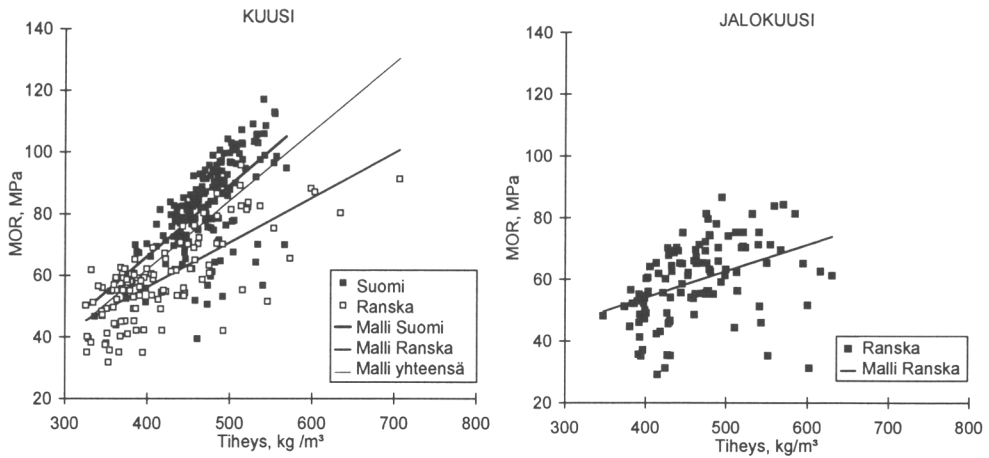
Taulukko 9. Yhden ja useamman selittävän muuttujan lineaariset regressiomallit kuusen ja jalokuusen puuaineen taiputuslujuudelle (MOR, MPa) Suomessa ja Ranskassa.

Puulaji Maa	Malli	N	R ²	RMSE, MPa
MOR = f (tiheys, kg/m ³)				
Kuusi:				
Suomi	Y = -25,801 + 0,230X	179	0,436	11,2
Ranska	Y = -1,822 + 0,145X	119	0,556	9,3
Molemmat	Y = -27,237 + 0,223X	297	0,545	12,5
Jalokuusi:				
Ranska	Y = 19,824 + 0,0857X	115	0,165	11,6
Kuusi ja jalokuusi:				
Ranska	Y = 10,757 + 0,110X	233	0,329	10,8
Molemmat	Y = -15,100 + 0,182X	412	0,346	12,0
MOR = f (tiheys, kg/m ³ X ₁ ; vuosiluston leveys, mm X ₂ ; puuaineen ikä, a X ₃)				
Kuusi:				
Suomi	Y = -1,645 + 0,180X ₁ - 2,442X ₂ + 0,102X ₃	179	0,502	10,6
Ranska	Y = 16,587 + 0,111X ₁ - 1,017X ₂ + 0,02444X ₃	118	0,604	8,8
Molemmat	Y = 9,102 + 0,154X ₁ - 2,139X ₂ + 0,03555X ₃	297	0,611	11,6
Jalokuusi:				
Ranska	Y = 35,964 + 0,06959X ₁ - 2,196X ₂ - 0,00546X ₃	115	0,336	10,4
Kuusi ja jalokuusi:				
Ranska	Y = 32,651 + 0,07471X ₁ - 1,573X ₂ + 0,02368X ₃	233	0,438	10,0
Molemmat	Y = 10,211 + 0,05520X ₁ - 1,757X ₂ - 0,01237X ₃	412	0,456	11,0

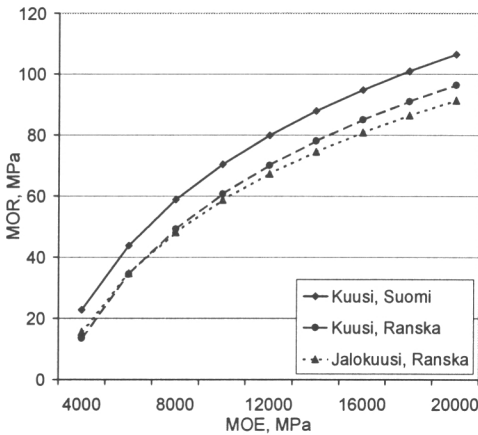
Vuosiluston leveyden ja puuaineen iän sisällyttäminen puuaineen tiheyden ohella selittäviin muuttujiin paransi hieman kimmokertoimen ennusteen tarkkuutta päätellen selitysasteen kasvusta (0,027–0,127) ja jäännöshajonnan pienenemisestä (0,5–1,7 MPa) (taulukko 9). Kimmokertoimen tavoin ennusteen tarkkuus parani lähinnä jalokuusella mutta pysyi lähes muuttumattomana kuusella, erityisesti Ranskassa. Puuaineen iän vaikutus lujuteen ei ollut merkitsevä (p=0,2–0,5).

6.2.3 Kimmokertoimen ja lujisuuden suhteet

Puuaineen lujisuuden (Y) ja jäykkyuden (X) suhde noudattaa yleisesti tunnetusti ja puulajista riippumatta kaavaa $Y = a + Xb$, missä a ja b ovat empiirisesti määritettäviä parametreja (Borg 1962, Bodig & Jayne 1982). Tätä riippuvuutta on käytetty usein kehitettäessä esim. sahatavaran lujuuslajittelun kriteerejä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuusella, riippuuko tämä suhde puun maantieteellisestä alkuperästä. Tätä



Kuva 7. Kuusen ja jalokuusen tukkipuiden puuaineen lujuuden (MOR) ja tiheyden (kosteusuhde 12 %) riippuvuussuhteet Suomessa ja Ranskassa taivutuksessa lineaarisen regressioanalyysin mukaan.



Kuva 8. Kuusen ja jalokuusen tukkipuiden puuaineen kimmokertoimen (MOE) ja lujuuden (MOR) riippuvuussuhteet Suomessa ja Ranskassa taivutuksessa lineaarisen regressioanalyysin mukaan.

Taulukko 10. Lineaarit regressiomallit kuusen ja jalokuusen lujuudelle (MOR, MPa) kimmokertoimen (MOE, MPa) perusteella taivutuskokeissa Suomessa ja Ranskassa.

Puulaji Maa	Malli	N	R ²	RMSE, MPa
Kuusi:				
Suomi	$Y = -408,0 + 119,6X$	179	0,520	10,3
Ranska	$Y = -413,3 + 118,5X$	119	0,938	3,5
Jalokuusi:				
Ranska	$Y = -374,5 + 108,3X$	115	0,903	3,9

varten tehtiin regressioanalyysit ja –mallit selittävän muuttujan lineaarimuunnoksella $Y=a+b \cdot \lg(X)$ (taulukko 10, kuva 8). Riippuvuussuhteet olivat Ranskassa paljon voimakkaampia kuin Suomessa. Lujuus oli suomalaisella kuusella kimmokerroin vakioitaessa selvästi korkeammalla tasolla kuin ranskalaisella kuusella tai jalokuusella.

7 Johtopäätökset

Puutavaran laatu heijastuu sekä välittömästi että välillisesti puutuotteiden saantoon ja laatuun. Vaikka tässä pohjoisen ja lauhkean ilmastovyöhykkeen havupuun vertailussa tutkittiin vain suomalaisia ja ranskalaista kuusta ja ranskalaista jalokuusta, tuloksia voidaan periaatteessa ajatella sovellettavan myös muihin kaupallisen sahatavaryhmän ”whitewood” havupuulajeihin. Vertailua voitaneen tehdä myös laajemmin pohjoismaisen ja keskieurooppalaisen kuusitukkipuuston välillä.

Suuremmat rungon dimensiot näyttivät olevan tässä tutkimuksessa tutkituista laatekijöistä ranskalaisten kuusitukkipuiden ainoa selvä etu suomalaisiin verrattuna. Tämä ero oli selvä huolimatta päinvastaisesta erosta puiden iässä. Ranskan kuusitukkipuilla oli keskimäärin selvästi suurempi rinnankorkeusläpimita ja rungon tilavuus, pitempi sahatukkiosa ja suurempi sahatukkiosuus pelkkien dimensiorajoitteiden perusteella arvioituna. Samassa rinnankorkeusläpimitassa ei kuitenkaan ilmennyt eroja sahatukkiosan pituudessa ja tukkiosuudessa.

Suomen ja Ranskan kuusitukkipuiden erot edellä mainituissa ominaisuuksissa ovat pienemmät kuin mäntytukkipuilla, koska nuorten ja keski-ikäisten kuusitukkipuustojen osuus on varsin suuri Ranskassa. Kuusen ja männyn keskimääräisen järeyden ero lienee Ranskassa myös suurempi kuin Suomessa. Puutavarakaupassa havutukin minimiläpimitat lienevät Ranskassa yleisesti suuremmat kuin Suomessa. Tämän vuoksi havutukki tulee Ranskassa markkinoille todennäköisesti vielä suuremmista puista kuin mitä on pääteltävissä tämän tai pystypuustojen inventointeihin perustuvien tutkimusten tuloksista.

Ero Suomen ja Ranskan kuusitukkipuiden keskimääräisessä tukkiosuudessa pienee, kun arvioinnissa otetaan huomioon laaturajoitteet pelkkien dimensiorajoitteiden lisäksi (Verkasalo & Leban 1996). Samassa rinnankorkeusläpimitassa tukkiosuus on Suomessa jo pelkästään rungon oksikkuuserojen vuoksi suurempi kuin Ranskassa, erityisesti pienissä järeytluokissa. Rungon arvokkaimmassa osassa eli tyvitukissa myös rungon kapeneminen on Suomessa pienempi mutta tätä ylemmissä osissa suurempi kuin Ranskassa.

Ranskassa kuusi on jalokuusen ja tulevaisuudessa myös douglaskuusen ohella huomattavasti tärkeämpi havutukkipuu kuin mänty, joka on tyypillisesti pohjoinen havutukkipuu. Suomen ja Ranskan kuusitukkipuuston ulkoisen laadun erot ovat kokonaisuutena kuitenkin pienehköt. Rungon vuosiluston leveys on tässä suhteessa poikkeava ominaisuus, sillä se on keskimäärin huomattavasti suurempi Ranskassa kuin Suomessa. Eron käytännöllinen merkitys on kuitenkin arvioitava siinä valossa, miten se vaikuttaa puunjalostuksessa ja -käytössä olennaisiin fysikaalisiin ja mekaa-

nisiin ominaisuuksiin, kuten puuaineen tiheyteen, kuivumiseen ja turpoamiseen, nesteiden ja kaasujen läpäisyyn ja varsinkin erilaisiin mekaanisiin ominaisuuksiin.

Vaikka puuaineen lujuudella ja kimmoisuudella (jäykkyydellä) on selvät riippuvuussuhteet tiettyjen puuaineen fysikaalisten ominaisuuksien kanssa, mekaanisten ominaisuuksien harhaton ennustaminen vertailujen tekemiseksi esim. eri maantieteellisiltä alueilta, erilaisista ilmastollisista oloista tai kasvupaikoilta tai geneettisestä taustasta peräisin olevien puumateriaalien välillä vaikuttaa vaikealta yksinkertaisten muuttujien perusteella. Tällaiset ennustemallit olisivat kuitenkin hyödyllisiä työkaluja, edellyttäen että selittävät muuttujat ovat helposti mitattavissa ja/tai niitä koskeva informaatio on olemassa valmiina.

Puuaineen tiheydellä, yksinään tai yhdessä vuosiluston leveyden ja puuaineen iän kanssa pystytään ennustamaan ainakin tyydyttävästi virheettömän puuaineen kimmokerrointa ja lujuutta. Nämä ominaisuudet olivat Suomessa ja Ranskassa erilaisella tasolla kuusella ja jalokuusella kuten myös männyllä (Verkasalo & Leban 1994, 2002), kun selittävä(t) muuttuja(t) vakioitiin. Useimmissa tapauksissa maiden välinen ero riippui selittävän muuttujan tasosta. Täten, kimmokertoimen ja lujuuden menestyksellinen ennustaminen eri puulajeilla ja eri maissa vaatii selittäviin muuttujiin sisällytettäväksi tässä tutkittujen lisäksi muita puuaineen ominaisuuksia kuvaavia muuttujia (esim. kesäpuun osuus, reaktio- ja nuorpuun esiintyminen tai osuus). Tätä asiaa on syytä tarkastella jatkossa uudelleen.

Sama puuaineen tiheys voi syntyä erilaisilla vuosiluston leveyden, kesäpuun osuuden ja puuaineen iän yhdistelmillä. Metsätaloudessa tämä tarkoittaa erilaisia metsänhoidon ja -kasvatuksen toimenpiteitä maatieteellisten ym. tiettyssä metsikössä vakio-olosuhteiden ohella. Täten, tiheyden korvaaminen näillä tekijöillä edellä tarkastelluissa ennustemalleissa voi olla hyvinkin perusteltua.

Puuaineen säteensuuntainen asema rungon sisällä osoittautui kuusella olennaiseksi kimmokertoimen ja lujuuden taustatekijäksi. Täten omat ennustemallit ytimen läheisyydessä sijaitsevalle (nuor)puulle voivat olla hyödyllisiä. Puuaineen mekaaniset ominaisuudet ovat erityisen tärkeitä ytimen molemmin puolin sahattavassa sydäntavarassa, joka käytetään usein rakennus- ja pakkauspuutavaraksi. Kuusen tyvi-, väli- ja latvatukin (alle 10 m:n korkeudessa) puuaineella ei sen sijaan ollut olennaista eroa ja ainakaan säteensuuntaiseen verrattavissa olevaa vaikutusta lujuuteen ja kimmoisuuteen.

Sahatavaran saantoon ja laatuun vaikuttavat lenkous, mutkat, epäpyöreys, laho ja muut runkoviati samoin kuin monet laatuun vaikuttavat puuaineen ominaisuudet kuten kesäpuun osuus, reaktiopuun osuus, kierteisyys ja vino- ja poikkisyisyys eivät kuuluneet tässä tutkittuihin kuusen laatutekijöihin. Nämä olisi luonnollisesti sisällytettävä jatkossa mahdollisiin puutavaran laatuvertailuihin.

Lopuksi esitetään arvio suomalaisen kuusen ja ranskalaisen kuusen ja jalokuusen tukkipuun puuaineen keskimääräisestä kimmokertoimesta ja lujuudesta käyttäen perusteena tässä tutkimuksessa laadittuja maa- ja puulajikohtaisia yhden muuttujan ennustemalleja, joissa selittävänä muuttujana on puuaineen tiheys ilmakuivana (kos-teussuhde 12 %). Tiheysarvot ovat Nepveun ym (1988a,b) aineistosta Suomen eteläosasta, ml. Kainuu (373 kuusta), ja Ranskan koillisosasta, Elsassista (271 kuusta,

443 jalokuusta) perustuen mittauksiin 1,3 m:n korkeudelta otetuista kairanlastuista. Siinä tutkimuksessa määritetyt kuiva-tuoretiheydet on muutettu ilmakeiviksi si massaerojen ja kuusen yleisten kutistumatietojen perusteella (Wagenführ 1996).

	Kimmokerroin (MOE)	Taivutuslujuus (MOR)
	MPa	
Kuusi		
Eteläinen Suomi	10 300	66
Ranska, uudistuskypsät metsiköt	8 700	53
Ranska, harvennuskypsät metsiköt	7 700	48
Jalokuusi		
Ranska, uudistuskypsät metsiköt	9 600	68
Ranska, harvennuskypsät metsiköt	9 400	67

Tulokset kuvastavat suhteellisia eroja pohjoismaisen ja keskieurooppalaisen puu-materiaalin välillä. Ennustetut kimmokertoimet ja lujuudet ovat verraten alhaisella tasolla (Jalava 1945, Kärkkäinen 1985). Tämä johtuu osaksi siitä, että puuaineen tiheys on rungossa rinnankorkeudella useimmiten alhaisempi kuin siinä keskimäärin (esim. Hakkila 1966). Lisäksi suoraan kairanlastujen perusteella määritetty tiheys on systemaattisesti alhaisempi kuin rungon poikkileikkauksessa keskimäärin, koska rungon sisä- ja ulko-osalla on tässä yhtä suuri paino tiheystuloksessa mutta todellisuu- dessa tiheys kasvaa tyypillisesti rungon ytimeistä pintaan päin (esim. Wagenführ 1996). Ennustemallien hyödyntämisen tehostaminen vaatisi yhtä keskilukua tarkempia tie- toja rungon tiheydestä, esim. rungon eri osista saatavan sahatavaran vertailemiseksi.

Kokonaisuutena tämän tutkimuksen tulokset viittasivat suomalaisten kuusitukki- puiden keskieurooppalaisia selvästi parempaan ulkoiseen teknilliseen laatuun lukuun ottamatta järeyttä, jossa tulokset olivat yhtä selvästi päinvastaiset. Myös puuaineen fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet olivat selvästi korkeammalla tasolla Suo- men eteläosassa kuin vertailukohtana olleella keskieurooppalaisella alueella. Eroilla on oleellinen merkitys saheiden keskimääräisen teknisen laadun kannalta erityisesti rakennuskäytössä, sekä rakennesahatavaranä että erilaisissa jatkojalosteissa (liima- puu, aihiot, tuoteosat), lisäksi rakennusvanereissa ja kertopuussa.

Kirjallisuus

- Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuutarat laskennalliseen pölkytyk- seen perustuen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(3): 165-178.
- Bodig, J. & Jayne, B.A. 1982. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 712 s.
- Borg, S.F. 1962. *Fundamentals of Engineering Elasticity*. D. Van Nostrand Co., Princeton, NJ.
- Brickenstein, R. 1992. Positive deutsch-skandinavische Zusammenarbeit auf dem Nadelschnitt- holzsektor. *Holz-Zentralblatt* 118(1992), 113: 1749.
- ENGREF. 1993. Tietoja Ranskan valtion metsien inventoinnista Koillis-Ranskassa (Elsass)

- 1990-91. Nancy, Ranska.
- Forest Products Laboratory. 1987. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Agriculture Handbook 72. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. Rev. 1987. 466 s.
- Gaber, E. 1937. Eigenschaften und Bewertung von in- und ausländischen Nadelholz. Holz als Roh- und Werkstoff 1(1937): 3, 83-87.
- Göhre, K. 1955. Einfluss von Wuchsgebiet, Standort, Rase und Bewirtschaftung auf die Rohdichte des Holzes. Archiv für Forstwesen 4: 5/6, 414-433.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5): 1-98.
- Hakkila, P. & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Lyhennelmä: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(6): 1-23.
- Hempel, H. 1934. Diskussion betreffend hochnordischen Holzes. Papperi ja Puu 9: 2-3.
- Hudson, W.M. 1967. The Strength Properties of European Redwood and Whitewood. Ministry of Technology, Forest Products Research Special Report No 24. Princes Risborough, Aylesbury, Great Britain. 27 s.
- Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 33(3): 1-66.
- Kollman, F. 1959. Vergleichende Untersuchungen an deutschem und schwedischem Kiefernholz für masten. Holz als Roh- und Werkstoff 23: 17, 474-483.
- Kuusela, K., Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982-1984. Folia Forestalia 655. 86 s.
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1983. Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979-1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977-1982. Folia Forestalia 568. 79 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Suomalaisen kuusen puuaineen vertailua Keski-Euroopassa kasvaneiden kuusi- ja jalokuusilajien puuaineeseen. Silva Fennica 19(2): 169-184.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Folia Forestalia 233. 20 s.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splini-funktiolla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 95(8): 1-63.
- Mazet, J.-F., Nepveu, G. & Velling, P. 1989. Etude des effets de quelques parametres sylvicoles et environnementaux sur la densite du bois de l'epicea commun, du sapin pectine et du pin sylvestre dans le nord-est de la France. Summary: Study of the effects of several environmental and silvicultural factors on the density of wood of Norway spruce (*Picea excelsa*), Silver fir (*Abies alba*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) of North-Eastern part of France. INRA, CRF Document 3: 1-96. Champenoux, France.
- Nepveu, G., Velling, P. & Aubert, D. 1988a. Comparaison de la structure des bois de pays (*Epicea commun*, *Sapin pectine*, *Pin sylvestre* des Vosges) et des bois du nord (*Epicea commun*, *Pin sylvestre*) originaires de Finlande: Distribution de densite dans le cerne et regularite. Summary: Comparison between structure of some softwoods from northeastern part of France (Norway spruce, Silver fir, Scots pine) and from Finland (Norway spruce, Scots pine). Wood density distribution in the ring and regularity between rings. INRA, CRF Document 3: 1-24. Champenoux, France.
- Nepveu, G., Velling, P. & Varcin, E. 1988b. Comparaison de quelques proprietes de base des bois de pays (*Epicea commun*, *Sapin pectine*, *Pin sylvestre* des Vosges) et des bois du Nord

- (*Epicea commun*, *Pin sylvestre*) originaires de Finlande. Summary: Comparison of some basic wood properties of softwoods from northeastern part of France (*Picea excelsa*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris* from Vosges department) and from Finland (*Picea excelsa*, *Pinus sylvestris*). INRA, CRF Document 2: 1-74. Champenoux, France.
- Panshin, A.J. & de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology. 4th Edition. McGraw-Hill, New York, NY. 722 s.
- Radovic, B., Gruber, R., Johansson, C.J. & Brundin, J. 1992. Holzsortierungsvergleich von Fichten-Schnittholz aus Schweden und Deutschland. Holz-Zentralblatt 118: 81/82, 1319.
- Rasmussen, E.F. 1961. Dry Kiln Operator's Manual. Agriculture Handbook No. 188. U.S. Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 188 s.
- Rikkonen, P. 1970. Minimiläpimitan vaikutus kuusirungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 72(2): 1-46.
- Rikkonen, P. 1987. Havutukkien kuorelliseen latvaläpimitaan perustuva tilavuuden määrittäminen. Folia Forestalia 684. 47 s.
- Schumacher, P. 1993. Qualitätsvergleich zwischen nordischen und bayerischen Fichtenschnittholz. Ph.D. dissertation. University of Munich, 1993.
- Siimes, F.E. 1967. The effect of specific gravity, moisture content, temperature and heating time on the tension and compression strength and elasticity properties perpendicular to the grain of Finnish pine, spruce and birch wood and the significance of these factors on the checking of timber at kiln drying. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Julkaisu 84: 1-75.
- Tolkki, P. & Saramäki, J. 1997. Esitutkimus kuusitukin erilaisten mittavaatimusten vaikutuksesta tukin saantoon. Pohjois-Karjalan metsänhoitoyhdistysten liitto ry. Moniste. 11 s.
- Verkasalo, E. 1992. Relationships of the Modulus of Elasticity and Structure of Finnish Scots Pine Wood. Tiivistelmä: Suomalaisen mäntypuun kimmomoduulin ja puuaineen rakenteen välisiä riippuvuussuhteita. Silva Fennica 26(3): 155-168.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 1994. Predicting Young's Modulus of Scots Pine, Norway Spruce and European Fir from Finland and France for the Comparison of Wood Quality. Julkaisussa: Proceedings First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, University of Sopron, Sopron, Hungary, September 21-23, 1994, ss. 279-293.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 1996. External quality of the saw timber stock of Scots pine and Norway spruce in Finland and France. Tiivistelmä: Suomen ja Ranskan mänty- ja kuusitukkipuuston ulkoinen laatu. Paperi ja Puu - Paper and Timber 78(5): 313-322.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 2000. Predicting MOE and MOR of Scots Pine, Norway Spruce and European Fir from Finland and France for the Comparison of Wood Quality. Julkaisussa: Stanzl-Tschegg, S.E. & Reiterer, A. (eds.). Proceedings of the International Symposium on Wood Machining "Properties of Wood and Wood Composites related to Wood Machining", 27-29 September, 2000, Vienna, Austria. Christian-Doppler-Laboratory for Fundamentals of Wood Machining, Institute of Meteorology and Physics, University of Agricultural Sciences, ss. 91-102.
- Verkasalo, E. & Leban, J.M. 2002. MOE and MOR in static bending of small clear specimens of Scots pine, Norway spruce and European fir from Finland and France and their prediction for the comparison of wood quality. Paperi ja Puu - Paper and Timber 84(4). Painossa.
- Wagenführ, R. 1996. Holzatlas. VEB Fachbuchverlag, Leipzig. 4. painos. 688 s.
- Wood from Nordic forests to Central Europe. 1983. Holz-Zentralblatt 109: 1808-1809, 2067-2070.

Liite. Tutkimushankkeiden ohjausryhmät ja vastuututkijat

1. Kuusen laatu- ja arvosuhteet (organisaatiotiedot vuonna 1995)

- Haapala Matti, Forssan Saha Oy, toimitusjohtaja (nykyisin eläkkeellä)
- Hartikainen Seppo, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki, metsänhoitaja
- Kuvaja Kari, Enso-Gutzeit Oy, metsäosasto, Imatra, puuhuoltopäällikkö (nykyisin eläkkeellä)
- Lappalainen Ilkka, Schauman Wood Oy, Savonlinna, puuhuollon johtaja
- Lehtonen Markku, Metsä-Serla Oy, Kirkniemi, kehittämispäällikkö (nykyisin Wood Fokus Oy, Helsinki, Tukista Tuplasti -ohjelman ohjelmapäällikkö)
- Lemmetty Jussi, Enso-Gutzeit Oy, metsäosasto, Imatra, metsäjärjestelmä-projektit (nykyisin Stora Enso Oyj, Forest Baltic, Tallinna, Viro, manager / planning & logistic)
- Lipponen Pertti, Enso-Gutzeit Oy, metsäosasto, Imatra, ostopäällikkö (nykyisin Stora Enso Oyj Metsä, Imatra, logistiikan kehittämispäällikkö)
- Marjomaa Jari, Metsäteho, Helsinki, tutkija (nykyisin Aranna Oy, Helsinki, tutkija)
- Metsä Aarni, Suomen Puututkimus Oy, Helsinki, toimitusjohtaja (nykyisin Wood Fokus Oy, Suomen Puututkimus Oy, Helsinki, toimitusjohtaja)
- Mikkonen Kalevi, Metsäliitto Osuuskunta, Espoo, kehittämispäällikkö (nykyisin Metsäliitto Ltd. International, Riika, Latvia)
- Olkkonen Jukka, Kaukas Oy, Lappeenranta, puuhuoltopäällikkö (nykyisin UPM-Kymmene Oyj Metsä, Tuonti, Lappeenranta, ympäristöpäällikkö)
- Paananen Seppo, Yhtyneet Paperitehtaat Oy, metsäosasto, Valkeakoski, suunnittelupäällikkö (nykyisin UPM-Kymmene Oyj Metsä, Valkeakoski, kehityspäällikkö)
- Pennanen Olavi, Metsäteho, Helsinki, erikoistutkija (nykyisin Metsäteho Oy)
- Sihvonen Matti, Metsäteollisuus ry., johtaja (nykyisin Wood Fokus Oy, Helsinki, toimitusjohtaja)
- Tilli Arto, Haminan Veistosaha Oy, puunvastaanotto, Hamina
- Tuovinen Pekka, Parme Oy, Humppila, toimitusjohtaja (nykyisin eläkkeellä)
- Uusvaara Olli, Metsäntutkimuslaitos, metsänkasvatuksen tutkimusosasto (nykyisin eläkkeellä)
- Sonninen Heikki, Tekma-Kuivaamot Oy, Svinhufvudinkatu 19, PL 14, 15101 Lahti, puh 0500-710457, e-mail: heikki.sonninen@tekmawood.fi
- Uusitalo Jori, Joensuun yliopisto, puh. 013-251 3638, e-mail: jori.uusitalo@forest.joensuu.fi
- Verkasalo Erkki, Metla, PL 68, 80101 Joensuu, puh. 013-251 4143, e-mail: erkki.verkasalo@metla.fi
- Väisänen Asko, Varikkotie 1, 89 600 Suomussalmi, puh. 08-711951

Vastuututkija: Verkasalo Erkki, Metla, metsänkasvatuksen tutkimusosasto, Vantaa, vanhempi tutkija (nykyisin Metla, Joensuun tutkimuskeskus, professori)

2. Kasvupaikan ja puutavaran käsittelyn vaikutus kuusen ja männyn puuaineen ominaisuuksiin ja värimuutosten kemia, Wood Wisdom -tutkimusohjelman hanke (organisaatiotiedot vuonna 1998):

- Absetz Ilmari, Tekes, rakennus- ja puutuoteteknologia. Helsinki, teknologia-asiantuntija (nykyisin teknologiajohtaja)
- Hautamäki Jussi, Vilkon Oy, Hirvensalmi, toimitusjohtaja

- Jalonen Markku, Taso 2002 Oy, Juva, toimitusjohtaja
- Kuokkanen Tapio, Incap Furniture Oy, Oulu, johtaja
- Metsä Aarni, Suomen Puututkimus Oy, Helsinki, toimitusjohtaja (nykyisin Wood Fokus Oy, Suomen Puututkimus Oy, Helsinki, toimitusjohtaja)
- Paavilainen Leena, Wood Wisdom –tutkimusohjelma, Helsinki, koordinaattori
- Säntti Matti, Isku-Yhtymä Oy, Lahti, johtaja
- Tuompo Erkki, Teknillinen korkeakoulu, puutekniikan laboratorio, yli-insinööri

Vastuututkija: Saranpää Pekka, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, erikoistutkija

3. Puun ominaisuuksien vaihtelu, Wood Wisdom -tutkimusohjelman hanke (organisaatitiedot vuonna 1998):

- Huttunen Satu, Oulun yliopisto, biologian osasto, Oulu, professori
- Karlsson Kaj, Metsämännut Tampere, toimitusjohtaja
- Kellomäki Seppo, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, professori (nykyisin Suomen Akatemia, tutkimusprofessori)
- Mikola Jouni, Metsänjalostussäätiö ry., Helsinki, jalostusjohtaja (nykyisin, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, erikoistutkija)
- Schildt Jyri, UPM-Kymmene Oyj Metsä, Valkeakoski, metsänhoitopäällikkö
- Varhimo Antero, Oy Keskuslaboratorio – Centrallaboratoriet Ab, Espoo, tutkija
- Vihavainen Tuija, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, professori
- Von Weissenberg Kim, Helsingin yliopisto, kasvibiologian laitos, professori

Vastuututkija: Saranpää Pekka, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, erikoistutkija

4. Kuitupuun laatu vaihtelu ja lajitteluperusteet, Wood Wisdom -tutkimusohjelman hanke (organisaatitiedot 1998):

- Autio Ilkka, Stora Enso Oyj
- Hagström-Näsi Christine, Tekes
- Jarkko Pentti, BMH Wood Technology Oy
- Jokela Veikko, Stora Enso Oyj
- Jonkka Arvo, Valmet Woodhandling Oy
- Paavilainen Leena, Wood Wisdom –tutkimusohjelma, Helsinki, koordinaattori
- Rahkola Kari, Vision Systems Oy
- Viiala Jarmo, Andritz Kone Wood Oy
- Öhman Heikki, UPM-Kymmene Oyj, Wisaforest Oy, Pietarsaari, johtaja

Vastuututkija: Hakkila Pentti, Metla, Vantaan tutkimuskeskus, professori (nykyisin VTT Energia, Espoo, tutkimusjohtaja)

ISBN 951-40-1821-4
ISSN 0358-4283
Hakapaino 2001