

Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteet

Matti Kärkkäinen

ABSTRACT: VALUE RELATIONS OF PINE AND SPRUCE STEMS

Kärkkäinen, M. 1986. Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteet. Abstract: Value relations of pine and spruce stems. *Silva Fennica* 20(2): 117-127.

Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteiden määrittämiseksi kehitettiin runkojen käytönsänsä sahausta ja kuidutusta kuvaava malli, jota käyttäen voidaan johtaa pää- ja sivutuotteiden myyntihinnoista sekä jalostusprosessin eri vaiheiden kustannuksista raaka-aineen puustamaksukyky. Puunjalostusmuotoina käytettiin rungon järeälle osalle sahausta ja latvaosalle kuidutusta kemiallisesti tai mekaanisesti. Hake ja puru kuidutettiin kemiallisesti. Pienten runkojen jalostusmuoto oli pelkästään kuidutus. Kuori ym. jätteet poltettiin. Sahateollisuudessa tärkeää männyn laatua kuvattiin kuivaoksarajalla.

Osoittautui, että rungon järeys vaikuttaa huomattavasti männyn puustamaksukykyyn ja selvästi myös kuusirunkoihin. Pääsyy on kehäsahan tuottavuuden paraneminen rungon järeytyessä ja männyllä myös suuridimensioisten kappaleiden hintalisät. Kuiduttavan teollisuuden hintojen vaikutus lisääntyi runkojen koon pienetessä. Myös suurissa rungoissa vaikutus oli melkoinen, koska hake ja puru hinnoiteltiin vientihinnoista johdetuilla arvoilla. Mekaanisen kuidutuksen kilpailukyky raaka-aineesta riippui ratkaisevasti sähköenergian hinnasta.

A mathematical model was developed for determining the value of pine and spruce stems on the basis of sawing and pulping. The model was based on selling prices of sawn goods, pulp and other products as well as processing costs. Sawing was applied to large dimension parts of stems and pulping to other parts and small stems. Bark and other residues were burned. The quality of pine stems was described by the distance to the lowest dead branch. In spruce only stem size affected the quality.

According to the results the size of stem affects considerably to the value of pine stems and clearly to that of spruce stems. The main reason is an increase in the productivity of frame sawing as the stem size increases. In pine another factor is the higher price of sawn goods. The effect of pulp price increased as the stem size decreased. Even in large sized stems the effect of pulp was notable as the value of chips and saw dust was determined on the basis of product values in export. The competition ability of mechanical pulping was greatly affected by the price of electricity.

Keywords: Pine, spruce, sawn goods production, pulping, simulation.
ODC 832.10:174.7 *Pinus sylvestris* + *Picea abies*.

Correspondence: University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki, Finland.

Approved on 14. 5. 1986

1. Johdanto

Suomessa ei ole viime vuosikymmeninä harjoitettu puutavaran kauppaa siten, että luovutushinta olisi määräytynyt runkojen kappalemäärän mukaan. Viime vuosisadalla ja myös tällä vuosisadalla oli yleistä, että runkohinta sovittiin rinnankorkeusläpimitan tai tavallisemmin tyvitukin latvaläpimitan mukaan. Tätä kauppatapaa suositeltiin käytettäväksi erityisesti silloin, kun oli lahovikaisuuden ja muiden vikojen takia vaara, että ostaja tarpeettomasti hylkäisi valmistettuja tukkeja luovutuspaikalla. Katsottiin, että oli kansantalouden kannalta edullista myydä puutavara runkokaupalla, jolloin ostajalla olisi halu hyödyntää kaikki kelvollinen rungon puuaines (esim. Forsström 1888). – Keskustelu tilavuuspohjaisten kauppojen ja runkokauppojen eduista oli kuitenkin vilkasta 1800-luvun lopulla, eikä yksimielisyyttä syntynyt (esim. Riddelin 1893, Bөөk 1893, Wasstjerna 1897, Svar till . . . 1897).

Yksityismetsien kaupoissa oli ilmeistä, että runkokauppaa käytettäessä kokeneet ostajat olivat edullisemmassa asemassa kuin yksityismetsänomistajat, joilla ei voinut olla käsitystä erikokoisten runkojen todellisesta arvosta. Tämän vuoksi runkokauppa joutui huonoon huutoon metsäammattilaisten keskuudessa. Osin syynä tosin saattaa olla eri käsitteiden sekoittaminen: näyttää siltä, että runkokauppa yleensä samaistettiin määrämittahakkuuseen, joka seurasi vielä pahempaan pidettyä kauppamuotoa, jonkin alueen puuston summakauppaa (Seppälä 1912).

Vaikka varsinaista runkokauppaa ei esiinnykään, pystymittaukseksi sanottua leimikon puuston arvioimismenetelmää voidaan hyvin verrata runkokaupan periaatteisiin. Pystymittatun puuston hakkuuoikeuden kaupassa saanto kohdistuu runkoihin, joiden hinta las-

ketaan rungosta saatavien tukkien ja kuitupuun hintojen summana käytettäessä sovitua teoreettista rungon apteerausta tukeiksi ja kuitupuuksi (ks. tarkemmin PMP-ohje . . . 1982 ja PMT-ohje . . . 1985). On täysin ostajan asia, kuten myös runkokaupassa, miten hän todellisuudessa apteeraa rungon, jonka hakkuuoikeuden hän on pystykaupassa ostanut. – Selvää on, että mm. optimaalinen rungon apteeraus riippuu siitä, onko kyseessä pystymittaus vai jälkimittaus, koska edellisessä tukeista maksettava korvaus perustuu teoreettiseen apteeraukseen ja jälkimmäisessä todelliseen (Kärkkäinen 1984, s. 175).

Tietoa erilaisten runkojen arvosuhteista tarvitaan nykyisin erityisesti silloin, kun markkinoille tulevan puutavaran niukkuuden vallitessa pyritään arvioimaan, mihin leimikkoihin ostajan kannattaa kohdistaa erityisiä toimia. Nämä toimet voivat olla vaihtelevaa hinnanasetantaa, erityisiä informaatiokohdistuksia jne. Lisäkustannukset koetetaan peittää puutavaran korkeamman jalostusarvon avulla, jolloin tarvitaan tietoa runkojen arvosuhteista. Menettely voi olla myös käänteinen: ostajan kannattaa varoa hintakilpailuun ryhtymistä silloin, kun leimikon runkojen arvo ei anna siihen varaa.

Puutavaran ostajaa hyödyttävä tietous on luonnollisesti yhtä tärkeää myyjälle, jotta hän pystyisi arvioimaan omalta kannaltaan järkevää hinnanasetantaa.

Tässä tutkimuksessa kehitetään malli, jota käyttäen voidaan tarkastella erilaisten mänty- ja kuusirunkojen puustamaksukyvyyn muodostumista raaka-ainetta ja jalostusprosesseja kuvaavien muuttujien avulla.

Käsikirjoituksen lukivat professori Risto Juvonen ja Olli Uusvaara. Kiitän saamastani tuesta.

2. Mallin periaatteet ja toteutus

21. Rungon kuvaus

Mallin lähtökohtana oli runko, joka jaettiin sahattavaan ja kuidutettavaan osaan annettujen minimiläpimittojen mukaan. Rungon

muoto saatiin Laasasenahon (1982) julkaisusta, kun kutakin rinnankorkeusläpimittaa vastaava keskimääräinen pituus oli ensin laskettu Kilkin ja Siitosen (1975) tutkimustulosten perusteella. Kannon korkeus laskettiin

Laasasenahon (1975) esittämistä kuvista laskettujen yhtälöiden mukaan.

Rungon apteerausta varten laskettiin runkokäyrän avulla sahatukkiosan pituus annettuun sahatukin minimiläpimitaan saakka. Tämä pituus muunnettiin sitten vastaamaan

tukkien 3 dm moduulia. Sitten sahatukkiosa jaettiin likimain vanhan PMP-järjestelmän mukaisella logiikalla tukeiksi, kuitenkin siten, että tyvitukki oli kaikissa tapauksissa yhtä pitkä tai pidempi kuin muut tukit. Apteerausmatriisi oli seuraava.

Tukkiosia dm	Tukkien pituudet dm					tukki	Tukkiosia dm	Tukkien pituudet dm					tukki
	1.	2.	3.	4.	5.			1.	2.	3.	4.	5.	
43	43						160	55	52	52			
46	46						163	58	52	52			
49	49						166	43	43	40	40		
52	52						169	43	43	43	40		
55	55						172	43	43	43	43		
58	58						175	46	43	43	43	43	
61...79	61						178	49	43	43	43	43	
82	43	37					181	49	46	43	43		
85	43	40					184	49	46	46	43		
88	43	43					187	52	46	46	43		
91	46	43					190	52	49	46	43		
94	46	46					193	52	49	46	46		
97	49	46					196	55	49	46	46		
100	49	49					199	55	52	46	46		
103	52	49					202	55	52	49	46		
106	55	49					205	55	52	49	49		
109	55	52					208	55	52	52	49		
112	58	52					211	58	52	52	49		
115	58	55					214	58	55	52	49		
118	61	55					217	61	55	52	49		
121	61	58					220	46	46	43	43	43	
124	43	40	40				223	49	46	43	43	43	
127	43	43	40				226	49	46	46	43	43	
130	43	43	43				229	52	46	46	43	43	
133	46	43	43				232	52	49	46	43	43	
136	46	46	43				235	52	49	49	43	43	
139	49	46	43				238	55	49	49	43	43	
142	49	46	46				241	55	49	49	46	43	
145	49	49	46				244	55	49	49	46	46	
148	52	49	46				247	58	49	49	46	46	
151	52	49	49				250	58	52	49	46	46	
154	52	52	49				Yli 250	61	52	49	46	46	
157	55	52	49										

22. Tukkien kuvaus ja sahaus

Rungosta saatavien sahatukkien laatu kuvattiin Heiskasen ja Siimeksen (1959) kolmijakoista luokitusta käyttäen. Männyllä eri laatuluokkien osuudet estimoitiin rungon rinnankorkeusläpimitan ja kuivaoksarajan mukaan käyttäen Kärkkäisen (1980 a) tuloksia. Kuusella laatujakauma määritettiin tukin latvaläpimitan perusteella (Heiskanen 1968).

Laskennassa laatu otettiin huomioon siten, että jokaisen tukin tulokset laskettiin laatuluokille 1, 2 ja 3. Lopullinen tulos saatiin laatuluokkien osuuksien mukaisena painotetuna keskiarvona.

Soirojen ja lautojen eri laatuluokkien osuudet laskettiin tukin latvaläpimitan ja Heiskasen-Siimeksen laatuluokan perusteella. Riippuvuudet otettiin aiemmista empiirisistä tutkimuksista (Siimes 1960, Kärkkäinen 1980 a,

b). Malli rakennettiin siten, että riippuvuus läpimitasta oli vakio, mutta tasoa voitiin muuttaa.

Sydäntavaran laatujakauma oli sellaisenaan käyttökelpoinen laskennan tunnus. Sitä vastoin lautojen laatujakaumaa jouduttiin säätelemään lisäparametreillä, koska laatuosuuksiin vaikuttavat monet tekniset ratkaisut ja hintasuhteet. Yhtenä laskennan parametrinä oli annettava se tukin läpimita, josta alkaen lautoja alettiin ottaa talteen hakettamisen sijasta. Lisäksi annettiin tiedot, missä määrin tehdään vajaasärmäisiä pintalautoja ja missä määrin niitä tuottavat saheet haketaan. Edelleen oli mahdollista ilmoittaa kotimaan laadun osuus pintalautoista – onhan tunnettua, että monet integroidut sahat välttävät kotimaan laadun tekemistä ja hakettavat niitä tuottavat saheet mieluummin selluhakkeeksi.

Purun määrä suhteessa sahatavaran nimelistilavuuteen heijastaa mm. sahakoneiden ominaisuuksia. Tätä suhdetta voitiin vaihdella. Asetepolitiikka taas kuvattiin ilmoittamalla soirojen osuus sahatavaran tilavuudesta tukin ollessa määräkokoinen. Soirojen osuuden riippuvuus latvaläpimitasta otettiin Heiskasen (1976) simulointitutkimuksesta täydennettynä Kärkkäisen (1979) sahaus-simulaattorin julkaisemattomilla tuloksilla.

Sahatavaran osuus tukin tilavuudesta otettiin huomioon käyttösuhteparametrillä. Oletusarvo oli korkeampi pikkutukkilinjalla kuin kehäsahalinjalla. Saannon riippuvuus läpimitasta otettiin eri koesahauksista (Kärkkäinen 1980 a, b, Kärkkäinen ja Kallinen 1982, Kärkkäinen ja Björklund 1983) täydennettynä julkaisemattomilla sahaus-simulaattorin antamilla tuloksilla.

Sahauskustannukset otettiin huomioon otamalla yhdeksi parametriksi pikkutukkilinjan ja kehäsahalinjan tuntikustannukset pääomakuluineen. Tämä ratkaisu korostaa kapasiteetin käytön merkitystä sahauskustannuksille. Jos sahataan suuria tukkeja, jotka mahdollistavat suuren tuotannon aikayksikössä, pääomakustannukset ja kiinteät kustannukset muodostavat sahatavaran tilavuutta kohti pienemmän erän kuin sahattaessa pieniä tukkeja, jotka laskevat sahan aikayksikkökapasiteettia.

Pikkutukkilinjalla annettiin syöttönopeus vakiona, joka ei muuttunut tukin latvaläpimitan mukaan. Kehäsahalinjalla käytettiin läpi-

mitan suuretessa alenevaa syöttönopeutta (Kärkkäinen 1980 a). Syöttönopeuden tasoa oli mahdollista muuttaa. – Sahauksen tehoajaksi laskettiin 85 % työajasta. Loppuajan oletettiin kuuluvan asetuksiin ja häiriöihin.

Pikkutukkilinjan ja kehäsahalinjan käyttö määräytyi tukin latvaläpimitan mukaan. Rajoja voitiin vaihdella mallissa.

Eri sahanpuutteet hinnoiteltiin seuraavasti. – Kuoren arvo laskettiin energiakäytön mukaan, purun ja sahanhakkeen taas kuidutuksen mukaan. Menettely on esitetty kohdassa 23. Soivot hinnoiteltiin laadun (u/s, V ja VI) mukaan, samoin laudat, joissa oli em. laatu- ja väriläpimitat. Lisäksi myös vajaasärmälaadut pl/vl ja pl/kl. Leveyslisät otettiin huomioon kvinttalautuisissa ja sitä paremmissa soiroissa ja laudoissa. Laudoissa leveyslisän raja oli 175 mm ja soiroissa 200 mm (1. leveyslisä) ja 225 mm (2. leveyslisä).

Pikkutukkilinjan sahatavarakäyttöä käytettiin yhtä yksikköhintaa, jonka suuruus ei riippunut tukin läpimitasta.

23. Kuoren käyttö ja raaka-aineen kuidutus

Runkojen kuori oletettiin poltettavan. Sen arvon laskentaa varten puutavaralajeittaiset kuiva-tuoretiheyden oletusarvot saatiin Kärkkäisen (1976) tutkimuksesta. Lämpöarvot otettiin Ijåksen (1983) raportista olettaen kuoren kuiva-ainepitoisuudeksi 45 %. Parametrejä voitiin muuttaa. Tähän on tarvetta mm. silloin, kun uittopuun osuus on poikkeuksellisen suuri ja vastaavasti kuoren kuiva-ainepitoisuus alhainen.

Puutavaralajien kuoriosuus ja sen riippuvuus läpimitasta otettiin Heiskasen ja Rikkosen (1976) sekä Saikun ja Rikkosen (1976) tutkimuksista. Osuuksia voitiin mallissa muuttaa.

Puru ja sahanhake oletettiin keitettäväksi selluksi, samoin kuitupuun. Sahanhakkeen ja kuitupuun tiheydet otettiin Hakkilan (1966) tutkimuksesta. Mallissa ei oletettu tiheyden riippuvan läpimitasta, koska eri suuntiin vaikuttavat tekijät ilmeisesti likimain kumoavat toisensa. Periaatteessa pölkyn suuretessa tiheys lisääntyy, erityisesti männällä, koska

puuaineen tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin. Toisaalta kasvunopeuden kohoaminen alentaa tiheyttä ja suurentaa pölkyn kokoa. Näin ollen suuri pölkky on usein nopeakavuinen ja tiheydeltään alhainen läpimitaansa nähden, ja pieni pölkky on hidaskasvuinen ja läpimitaansa nähden tiheää puuta. – Tiheyden riippumattomuuteen läpimitasta viittaavat myös Hakkilan ja Rikkosen (1970) tekemät kuusikuitupuun ja -tukkien vertailut.

Mallissa ei ole otettu kantaa, millä menetelmällä sellun valmistus tapahtuu. Olennaista on, että saantoa, valmistuskustannuksia ja sellun hintaa koskevat parametrit ovat järkevissä suhteissa toisiinsa. Oletusarvona on kuitenkin sulfaattiprosessi. Tällöin saanto vastaa keskimääräisellä kuiva-tuoretiheydellä puunkäyttölukua 5,5 m³ sellutonnina (kuiva-ainepitoisuus 90 %) kohti.

Sellun valmistuksen kustannukset sisältävät mallissa pääomakustannukset, mutta ei puuraaka-ainekustannuksia, koska juuri niitä pyritään laskemaan jäännöserämenettelyn avulla. Kustannukset olivat erilaiset purusellulle (yleensä vuokeitto) ja hakesellulle (yleensä eräkeitto).

Jäteliemen kuiva-ainepitoisuus laskettiin puutavaran kuiva-tuoretiheyden ja saannon avulla sekä hinnoiteltiin energia-arvon mukaan.

Massiivinen kuitupuun (eräkeiteksi hakkeesta) voitiin mallissa hinnoitella myös mekaanisen kuidutuksen mukaan. Tällöin tärkein tuotantokustannusparametri oli sähköenergian kulutus ja siihen liittyvä energian hinta.

24. Laskennan lähtöarvot

Seuraavassa on esitetty lähtöarvot kaikkiaan 107:lle muuttujalle, jotka vaikuttavat mallilla saataviin tuloksiin. Niitä voidaan muuttaa ja täten selvittää, mitä on muutoksen vaikutus muiden tekijöiden pysyessä ennallaan. Valtaosa muuttujista, noin 100, on suoranaisia raaka-ainetta ja sen jalostusta kuvaavia tekijöitä. Muut vaikuttavat tulostuksen laatuun ja laajuuteen.

Lähtöarvotiedot olivat seuraavat.

Seuraavat koskevat mäntyä ja kuusta:

Pikkutukkilinjan kustannus mk/tehotunti	9300
Pikkutukkilinjan syöttönopeus m/min	48
Kehäsahalinjan kustannus mk/tehotunti	8000
Kehäsahalinjan syöttönopeus m/min, kun DL=21 cm	19
Pikkutukkien suurin latvaläpimita cm	14
Pikkutukkien pienin latvaläpimita cm	11
Mäntytukkien kuoren kuiva-tuoretiheys kg/m ³	300
Kuusitukkien kuoren kuiva-tuoretiheys kg/m ³	410
Mäntykuitupuun kuoren kuiva-tuoretiheys kg/m ³	300
Kuusikuitupuun kuoren kuiva-tuoretiheys kg/m ³	365
Mäntytukkien kuoren lämpöarvo MJ/kg	16.9
Kuusitukkien kuoren lämpöarvo MJ/kg	15.5
Mäntykuitupuun kuoren lämpöarvo MJ/kg	16.9
Kuusikuitupuun kuoren lämpöarvo MJ/kg	15.5
Kuorienergian hinta mk/GJ	25
Mäntytukkien kuoriosuus tilavuudesta %	12
Kuusitukkien kuoriosuus tilavuudesta %	10
Mäntykuitupuun kuoriosuus tilavuudesta %	12
Kuusikuitupuun kuoriosuus tilavuudesta %	12
Mäntysahanhakkeen puuaineen tiheys kg/m ³	440
Kuusisahanhakkeen puuaineen tiheys kg/m ³	380
Mäntykuitupuun puuaineen tiheys kg/m ³	415
Kuusikuitupuun puuaineen tiheys kg/m ³	380
Mäntysahanpurun puuaineen tiheys kg/m ³	420
Kuusisahanpurun puuaineen tiheys kg/m ³	380
Mäntyselän saanto hakkeesta (k.a. 90 %)	40
Kuusiselän saanto hakkeesta (k.a. 90 %)	47
Mäntyhakesellun hinta mk/t (k.a. 90 %)	2150
Kuusihakesellun hinta mk/t (k.a. 90 %)	2150
Männyn keiton jäteliemen kuiva-aineen arvo mk/t	200
Kuusen keiton jäteliemen kuiva-aineen arvo mk/t	180
Mäntyhakekeiton kustannukset tuotetta kohti mk/t	1200
Kuusihakekeiton kustannukset tuotetta kohti mk/t	1200
Mäntyselän saanto purusta (k.a. 90 %)	37
Kuusiselän saanto purusta (k.a. 90 %)	37
Mäntypurusellun hinta mk/t (k.a. 90 %)	2040
Kuusipuruselän hinta mk/t (k.a. 90 %)	2040
Mäntypurukeiton kustannukset tuotetta kohti mk/t	1100
Kuusipurukeiton kustannukset tuotetta kohti mk/t	1100
Tukkien kustannukset tienvarresta tehtaalle mk/m ³	55
Kuitupuun kustannukset tienvarresta tehtaalle mk/m ³	65

Seuraavat koskevat vain mäntyä:

Mäntyrunkojen alin kuivaoksaraja, m	1
Mäntyrunkojen ylin kuivaoksaraja, m	10
Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 1 ja DL 21 cm)	84
Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 2 ja DL 21 cm)	40
Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 3 ja DL 21 cm)	7
Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 1 ja DL 21 cm)	53
Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 2 ja DL 21 cm)	30
Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 3 ja DL 21 cm)	8
Tukin läpimita cm, josta alkaen lautoja	15
Vajaasärmäautoja % laudoista, kun DL = 21 cm	45
KL/PL % vajaasärmäautoista, kun DL = 21 cm	59
Purun tilavuus % sahatavarasta, kun DL = 21 cm	23

Soirojen osuus sahatavarasta %, kun DL = 21 cm	73	pl/vl-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	470
u/s-soirojen perushinta mk/m ³	960	pl/kl-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	400
V-soirojen perushinta mk/m ³	760	Yli 200 mm u/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	10
VI-soirojen hinta mk/m ³	590	Yli 225 mm u/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	20
u/s-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	1120	Yli 200 mm V-soirojen leveyslisä mk/m ³	5
V-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	825	Yli 225 mm V-soirojen leveyslisä mk/m ³	10
VI-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	560	Yli 175 mm u/s-lautojen leveyslisä mk/m ³	10
pl/vl-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	480	Yli 175 mm V-lautojen leveyslisä mk/m ³	5
pl/kl-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	400	Käyttösuhte kehäsahalla (DL = 21 cm) m ³ /m ³	2.3
Yli 200 mm u/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	55	Käyttösuhte pikkutukkiliinjalla (DL = 21 cm)	2.7
Yli 225 mm u/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	95	Pikkutukki-sahatavaran keskihinta mk/m ³	650
Yli 200 mm V/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	30	Kuusikuitupuun kuorellinen minimiläpimitta, cm	6
Yli 225 mm V/s-soirojen leveyslisä mk/m ³	45	Laatuluokan 1 tukkien osuus, kun DL = 21 cm	24
Yli 175 mm u/s-lautojen leveyslisä mk/m ³	15	Laatuluokan 3 tukkien osuus, kun DL = 21 cm	36
Yli 175 mm V-lautojen leveyslisä mk/m ³	10	Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 1 ja DL 21 cm)	96
Käyttösuhte kehäsahalla (DL = 21 cm) m ³ /m ³	2.2	Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 2 ja DL 21 cm)	82
Käyttösuhte pikkutukkiliinjalla (DL = 12 cm)	2.7	Soirojen u/s-osuus % (tukin laatu 3 ja DL 21 cm)	39
Pikkutukki-sahatavaran keskihinta mk/m ³	760	Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 1 ja DL 21 cm)	65
Mäntykuitupuun kuorellinen minimiläpimitta, cm	6	Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 2 ja DL 21 cm)	42
		Lautojen u/s-osuus % (tukin laatu 3 ja DL 21 cm)	13
		Tukin läpimitta cm, josta alkaen lautoja	15
		Vajaasärmälautoja % laudoista, kun DL = 21 cm	45
		KL/PL % vajaasärmälautoista, kun DL = 21 cm	59
		Purun tilavuus % sahatavarasta, kun DL = 21 cm	23
		Soirojen osuus % sahatavarasta, kun DL = 21 cm	73
		Kuitupuulaskenta hiokkeen mukaan, EI=0, KYLLÄ=1	1
		Saanto hiokkeen valmistuksessa (k.a. = 90 %)	95
		Sähköenergian kulutus hionnassa kWh/tonni	1450
		Sähköenergian hinta hionnassa p/kWh	20
		Muut valmistuskustannukset mk/t (k.a. = 90 %)	600
		Hiokkeen hinta mk/t (k.a. = 90 %)	1530

Seuraavat koskevat vain kuusta:

u/s-soirojen perushinta mk/m ³	730
V-soirojen perushinta mk/m ³	635
VI-soirojen hinta mk/m ³	590
u/s-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	730
V-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	635
VI-lautojen (19 mm) hinta mk/m ³	590

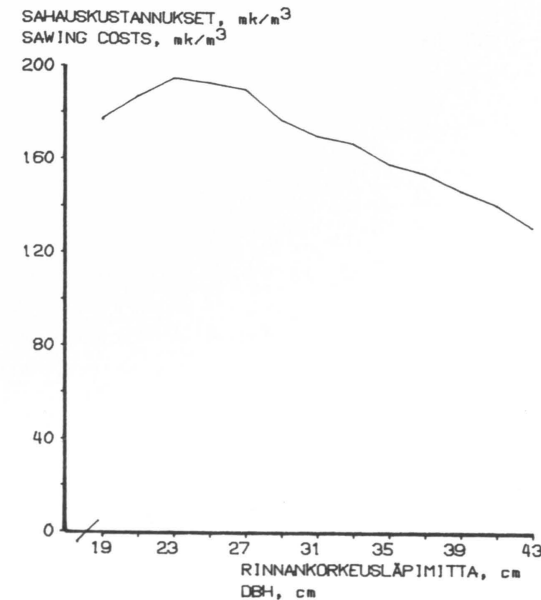
3. Tulokset

Jäljempänä esitettäviä runkokohtaisia tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että kaikki tuotot ja kustannukset on laskettu rungon käyttöosan kuorellista tilavuutta kohti. Tästä aiheutuu, että eräät kustannuslajit vaihtelevat yllättävällä tavalla. Esimerkiksi jos käytetään vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi pelkkää kehäsahausta, sahauskustannukset aluksi nousevat ja vasta sitten laskevat rungon koon kasvaessa (kuva 1). Syynä on se, että sahatukin osuus käyttöosan tilavuudesta on pienillä puilla niin alhainen, etteivät korkeat sahauskustannukset ole maksimaalisia rungon käyttöosan tilavuutta kohti. Vastaavasti eivät ole sahatavaratuototkaan erityisen suuria.

Runkoja koskevat tulokset esitetään siten, että sahausmenetelmänä on kauttaaltaan ke-

häsahaus ja tukin minimiläpimitta on 15 cm. Oli nimittäin havaittavissa, että nopeat pikkutukkiliinjat olivat käytetyillä sellun ja sahatavaran hintasuhteilla niin edullisia, että pikkutukkeja tuottavien runkojen arvo oli korkeampi kuin vähän suurempien runkojen, joista tulevat tukit sahattiin kehäsahatekniikalla. Selvytyden vuoksi tyypilliset pikkutukkeja tuottavat rungot jätettiin kuvien ulkopuolelle.

Mitä ensinnäkin tulee kuidutettavien runkojen arvoon luvun 24 lähtötietoja käytettäessä, voitiin havaita, ettei puun koko vaikuttanut arvoon juuri lainkaan, kun varsinaisia puunkorjuukustannuksia ei otettu huomioon. Tulos johtui siitä, että tiheys oletettiin puun koosta riippumattomaksi. Näin ollen vain kuoren osuuden vaihtelu rungon koon mukaan vaikutti arvoon. Kun kuorta on suhteel-



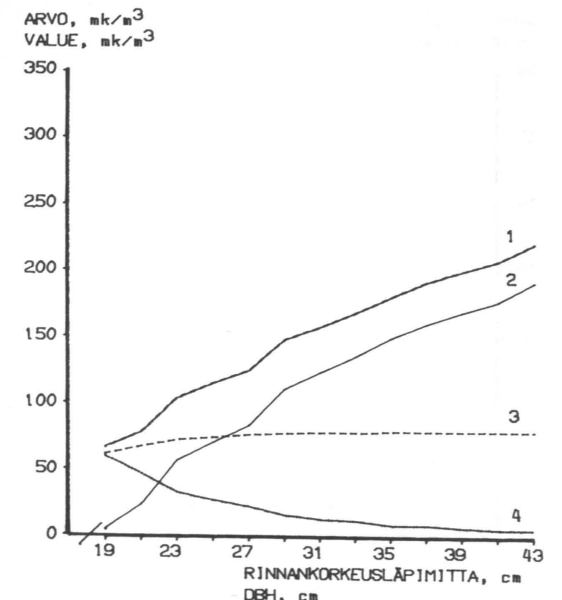
Kuva 1. Sahauskustannukset rungon käyttöosan tilavuutta kohti mk/m³ rinnankorkeusläpimitan mukaan.

Fig. 1. Sawing costs per the volume of usable part of stem according to breast height diameter.

lisen vähän puuaineeseen verrattuna ja sen arvo polttoaineena on alhainen, tulos on helppo hyväksyä.

Sulfaattiprosessia käytettäessä mäntykuitupuun arvo oli 128 mk/m³, sulfiittiprosessin mukainen kuusikuitupuun arvo 130 mk/m³ ja hiokkeen mukainen kuusikuitupuun arvo 155 mk/m³. Kiintoisaa oli, että mekaanisessa kuidutuksessa puutavaran arvoon vaikutti hyvin selvästi sähköenergian hinta, kuten voi tietysti päätellä jo suuresta hionnan energiankulutuksesta. Luvun 24 mukaisilla lähtöarvotiedoilla sähkön hinnan lisäksi 10 p/kWh alensi puustamaksukykyä 46 mk/m³. – Tämän laskelman valossa on ymmärrettävää, että kohtuuhintaisen sähkön riittävä tuotanto on metsäteollisuuden ja puutavaran myyjien intressien mukaista.

Kun jalostusmuotona voidaan käyttää sahausta, rungon koko alkaa voimakkaasti vaikuttaa puutavaran arvoon. Kuvassa 2 on esitetty kuusta koskeva tulos luvun 24 mukaisilla arvoilla lukuun ottamatta sitä, että sahausmenetelmänä on kehäsahaus ja tukin minimiläpimitta on 15 cm.

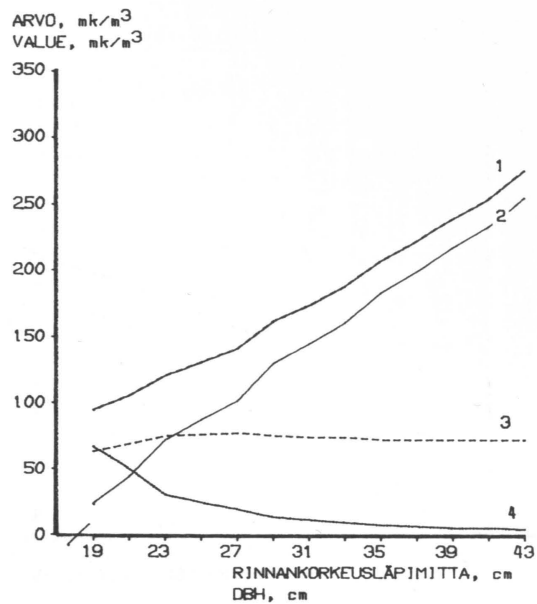


Kuva 2. Kuusirungon arvon muodostuminen rinnankorkeusläpimitan mukaan. 1 = rungon käyttöosan jalostusarvo sahaus- ja kemiallisen kuidutuksen perusteella, 2 = nettotuotot sahatavarasta ja tukkien kuoresta, 3 = nettotuotot purusta ja hakkeesta, ja 4 = nettotuotot rungon kuitupuuosasta. Kaikki tuotot rungon käyttöosan tilavuutta kohti.

Fig. 2. Value of spruce stem according to breast height diameter. 1 = value of stem on the basis of sawing and pulping, 2 = net value of sawn goods and bark of saw logs, 3 = net value of saw dust and chips, and 4 = net value of pulpwood part of stem. All values are based on costs and returns per the volume of usable part of stem.

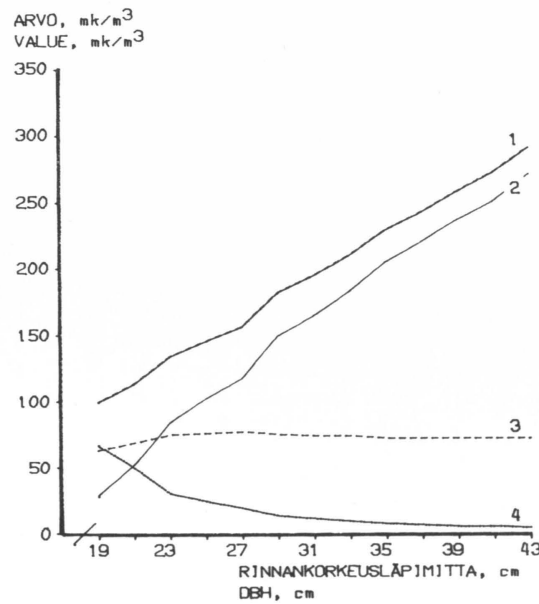
Huomattava osa kuvan osoittamasta arvon lisääntymisestä rungon järeytyessä johtuu sahauskustannusten alenemisesta. Kuvan 2 vaihteluvälillä sahauskustannusten minimin ja maksimin ero oli 57 mk/m³.

Kuvassa 2 ilmenee, että kuitupuuosan jalostusarvolla on vain vähäinen merkitys suurten runkojen ollessa kyseessä. Sitä vastoin hakkeen ja purun merkitys on olennainen kaikenkokoisissa rungoissa. Tulos osoittaa, että sahatavaran kannalta hakkeen ja purun yksikköhinnan merkitys on olennaisesti suurempi kuin kuitupuun hinnan, mikäli kuitupuuta ostetaan vain sahapuurunkojen mukana. Vasta rinnankorkeusläpimitaltaan 19 cm pienemmissä rungoissa kuitupuun yksikköhinta tulee tärkeämmäksi.



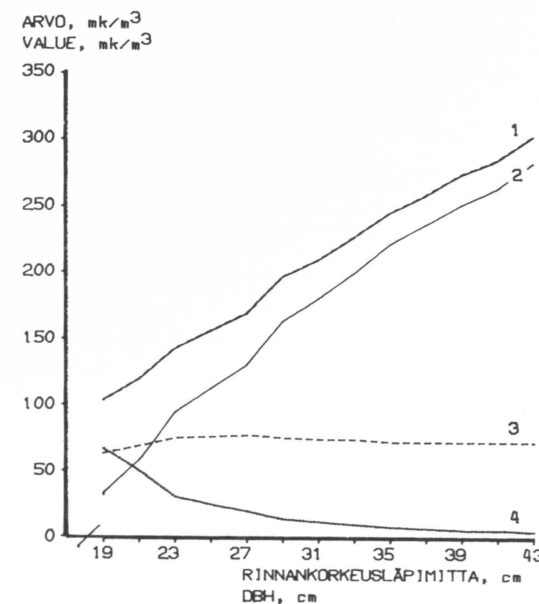
Kuva 3. Mäntyrunгон arvon muodostuminen rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun kuivaoksaraja on 2 m. 1 = rungon käyttöosan jalostusarvo sahauksen ja kemiallisen kuidutuksen perusteella, 2 = nettotuotot sahatavarasta ja tukkien kuoresta, 3 = nettotuotot purusta ja hakkeesta, ja 4 = nettotuotot rungon kuitupuuosasta. Kaikki tuotot rungon käyttöosan tilavuutta kohti.

Fig. 3. Value of pine stem according to breast height diameter as the distance to the lowest dead branch is 2 m from the ground. 1 = value of stem on the basis of sawing and pulping, 2 = net value of sawn goods and bark of saw logs, 3 = net value of saw dust and chips, and 4 = net value of pulpwood part of stem. All value are based on costs and returns per the volume of usable part of stem.



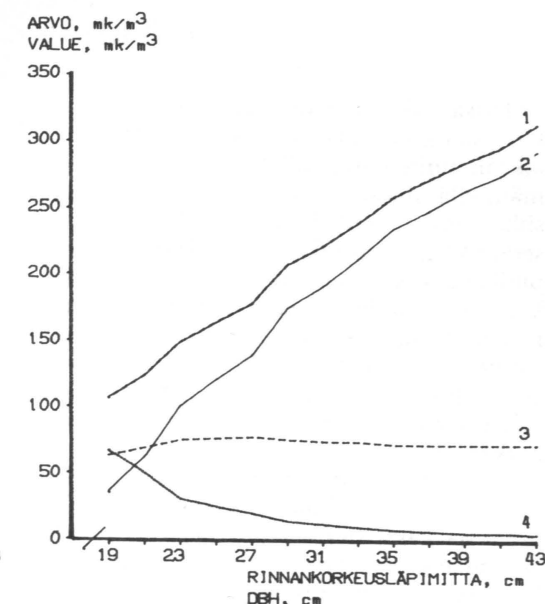
Kuva 4. Mäntyrunгон arvon muodostuminen rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun kuivaoksaraja on 4 m. 1 = rungon käyttöosan jalostusarvo sahauksen ja kemiallisen kuidutuksen perusteella, 2 = nettotuotot sahatavarasta ja tukkien kuoresta, 3 = nettotuotot purusta ja hakkeesta, ja 4 = nettotuotot rungon kuitupuuosasta. Kaikki tuotot rungon käyttöosan tilavuutta kohti.

Fig. 4. Value of pine stem according to breast height diameter as the distance to the lowest dead branch is 4 m from the ground. 1 = value of stem on the basis of sawing and pulping, 2 = net value of sawn goods and bark of saw logs, 3 = net value of saw dust and chips, and 4 = net value of pulpwood part of stem. All value are based on costs and returns per the volume of usable part of stem.



Kuva 5. Mäntyrunгон arvon muodostuminen rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun kuivaoksaraja on 6 m. 1 = rungon käyttöosan jalostusarvo sahauksen ja kemiallisen kuidutuksen perusteella, 2 = nettotuotot sahatavarasta ja tukkien kuoresta, 3 = nettotuotot purusta ja hakkeesta, ja 4 = nettotuotot rungon kuitupuuosasta. Kaikki tuotot rungon käyttöosan tilavuutta kohti.

Fig. 5. Value of pine stem according to breast height diameter as the distance to the lowest dead branch is 6 m from the ground. 1 = value of stem on the basis of sawing and pulping, 2 = net value of sawn goods and bark of saw logs, 3 = net value of saw dust and chips, and 4 = net value of pulpwood part of stem. All values are based on costs and returns per the volume of usable part of stem.



Kuva 6. Mäntyrunгон arvon muodostuminen rinnankorkeusläpimitan mukaan, kun kuivaoksaraja on 8 m. 1 = rungon käyttöosan jalostusarvo sahauksen ja kemiallisen kuidutuksen perusteella, 2 = nettotuotot sahatavarasta ja tukkien kuoresta, 3 = nettotuotot purusta ja hakkeesta, ja 4 = nettotuotot rungon kuitupuuosasta. Kaikki tuotot rungon käyttöosan tilavuutta kohti.

Fig. 6. Value of pine stem according to breast height diameter as the distance to the lowest dead branch is 8 m from the ground. 1 = value of stem on the basis of sawing and pulping, 2 = net value of sawn goods and bark of saw logs, 3 = net value of saw dust and chips, and 4 = net value of pulpwood part of stem. All value are based on costs and returns per the volume of usable part of stem.

Vastaavat mäntyä koskevat tulokset on esitetty kuivaoksarajoille 2, 4, 6 ja 8 m kuvissa 3...6. Myös niistä ilmenee rungon kuitupuosan vähäinen merkitys rungon arvon kannalta ja vastaavasti hakkeen ja purun suuri vaikutus rungon arvoon.

Kuvien mukaan kuivaoksarajan merkitys on vähäinen pienimmissä rungoissa, vain muutamia markkoja kuutiometriä kohti. Ulkoisen laadun merkitys kasvaa voimakkaasti rungon järeytyessä ja on jo lähes 40 mk/m³ suurimmissa rungoissa, kun tarkastellaan kuivaoksarajoja 8 ja 2 m.

Kun kuitupuun puustamaksukyky oli riip-

pumaton rungon koosta, voidaan määrittää rajaläpimitta, jota pienemmät puut kannattaa kuiduttaa ja suuremmat sahata. Kuusella kemiallisen kuidutuksen rajarinnankorkeusläpimitta on kuvan 2 mukaan noin 28 cm ja mekaanisessa kuidutuksessa lähes 31 cm. Männyllä raja riippuu tietysti puun laadusta. Kun kuivaoksaraja on 2 m (kuva 3), raja on lähes 25 cm. Kun kuivaoksaraja on 8 m (kuva 6), lähes kaikenkokoiset puut kannattaa mieluummin sahata kuin kuiduttaa.

Selvää on, että em. rajat riippuvat paljon sellun ja sahatavaran hintasuhteista. Jo muuttaman kymmenen markan korotus sahatava-

ran hintaan luvun 24 arvoihin verrattuna riittää siirtämään rajaläpimitat tavanomaiseen kuitupuun- ja tukkirungon rajaan. Sellun hinnan suhteellisesti samanlainen korotus vaikuttaa sitä vastoin vähän: sahaus on järeiden ja laadukkaiden runkojen edullisin jalostusmuoto.

Joitakin laskelmia tehtiin leveyslisien vaikutuksesta. On nimittäin osoittautunut, että huonon kysynnän vallitessa suuridimensioiset kappaleet jäävät herkästi varastoon, jolloin kohonneiden korkokulujen muodossa helposti menetetään leveyslisien vaikutus.

Kun leveyslisät poistettiin kokonaan, run-

kojen arvot laskivat seuraavan jaotelman osoittamalla tavalla.

Rinnankorkeusläpimitta cm	Arvon aleneminen mk/m ³ leveyslisien poistuksessa	
	Mänty	Kuusi
31	0	2
33	5	3
35	6	3
37	10	4
39	12	5
41	14	5
43	16	5

4. Tulosten tarkastelu

Tässä työssä kehitetyssä mallissa on joitakin yksinkertaistuksia, jotka vaikuttavat tuloksiin tuntemattomalla tavalla. Ensinnäkin männyllä huomiota ei ole voitu kiinnittää siihen, että tyvitukki on yleensä korkealaatuisempi kuin muut tukit, ja että kolmitukisilla puilla välitukki on usein heikkolaatuisin tukki kuivaoksaisuuden takia. Tulokset perustuvat menettelyyn, jossa kaikkien tukkien laatuja-kauma on sama riippumatta siitä, mistä rungon kohdasta ne on otettu. Esimerkiksi jos rinnankorkeusläpimitan ja kuivaoksarajan mukaan on oletettu, että tukkiosan tilavuudesta on 1. luokan tukkeja 31 %, 2. luokan tukkeja 20 % ja 3. luokan tukkeja 49 %, näitä osuuksia käytettiin rungon kaikkien tukkien laskennassa, ts. tyvitukeista 31 % oli 1. luokan tukkeja, samoin väli- ja latvatukeista.

Ilmeistä on, että käytetty menettely alentaa runkojen absoluuttista puustamaksukykyä, koska suurimman tilavuuden omaavalla tyvitukilla keskilaatu on liian alhainen ja pienimmän tilavuuden latvatukilla taas liian korkea. Systemaattista aliarviota ei pyritty korjaamaan, koska se ei olennaisesti vaikuttanut runkojen suhteisiin.

Edelleen virhettä aiheutuu siitä, että tukkien apteraus oli mekaaninen, rungon laadusta riippumaton. Koesahausten perusteella kuitenkin tiedetään, että optimaalinen tyvitukin pituus kasvaa kuivaoksarajan kohotessa (Orver 1973), kuten luonnollista onkin. Tehdyt yksinkertaistukset ilmeisesti alentaa kaikkien mäntyrunkojen puustamaksukykyä: huonolaatuisten runkojen tyvitukit ovat liian pitkiä ja hyvälaatuisten liian lyhyitä. Laskentamenetelmästä toisaalta johtuu, ettei vaikutus voi olla olennaisen suuri.

Arvostella voi myös sitä, että sahauskustannukset lasketaan tukkien koon mahdollistaman sahauskapasiteetin mukaan: mitä suurempi on aikayksikkötuotos, sitä pienemmät ovat myös erilaiset kiinteät kustannukset. Laskentatavan oikeellisuus riippuu siitä, onko puutavaraa sahattavaksi koko kapasiteetin verran, vai jääkö järeyden kohoamisen ansiosta lisääntyvä kapasiteetti käyttämättä

raaka-ainepulan vuoksi. Mikäli jälkimmäinen tilanne on tosi, mallissa käytetty laskentatapa korostaa liikaa runkojen järeyden merkitystä sahauskustannuksille.

Sellun valmistuksessa mallin eräs yksinkertaistus on se, etteivät valmistuskustannukset riipu puuraaka-aineen tiheydestä. Malli ei tosin estä riippuvuuden käyttöä, koska tulokset voidaan laskea eri tiheyden omaaville puutavaralajeille erikseen ja muuttaa tällöin valmistuskustannusten suuruutta. Tähän on aihetta silloin, kun tiheys vaihtelee paljon. Selvää nimittäin on, että puuaineen tiheyden alentuessa valmistuskustannukset suurenevät, koska keittimen tuotos aikayksikössä pienenee ja vastaavasti kiinteät kustannukset tuoteyksikköä kohti kohoavat (Kärkkäinen 1986).

Yksinkertaistuksista huolimatta vaikuttaa kuitenkin ilmeiseltä, että runkojen jalostusarvon muodostumista kuvaava malli on käyttökelpoinen analysoitaessa eri tekijöiden tärkeyttä hinnanmuodostuksessa. Tuloksia on tosin vaikea todentaa empiirisesti, koska koesahaukset tai -kuidutukset maksavat huomattavan paljon, erityisesti tehdasmittakaavassa toteutettuna. Näin ollen mallin käyttökelpoisuus joudutaan päättelemään tulosten loogisuudesta muutettaessa yksittäisiä parametrejä. Tässä suhteessa tulos vaikutti lupaavalta.

Käsillä olevassa tutkimusraportissa tarkasteltiin kaikkiaan yli sadasta tuloksiin vaikuttavasta tekijästä vain muutamia. Niistä monien vaikutus on vähäinen luontaisella vaihtelualueellaan. Niiden mukanaolo on kuitenkin perusteltua uudenlaisten ratkaisujen simuloimisen mahdollistamiseksi. Esimerkiksi uiton merkitystä tehdastalouden kannalta voidaan tarkastella ottamalla huomioon kuoren osuuden väheneminen ja perille tulevan kuoren vettyminen, josta seuraa kuiva-ainepitoisuuden lasku ja alhainen arvo energian tuottamisessa. Vaikeinta tällaisissa kokeiluissa ei ole niinkään mallin rakentaminen, vaan luotettavien tietojen saaminen muutosten suuruudesta esim. juuri vaihdettaessa kaukokuljetusmenetelmää.

Kirjallisuutta

- Böök, A. 1893. Vastaus h:ra A. Riddelinille. Finska Forstfören. Medd. 11: 128–131.
- Forsström, E. 1888. (Pseudonymiselvitys, ks. Saari & Seppälä 1967). Virkesleveranser per kubikfot eller per stam. Finska Forstfören. Medd. 6: 212–216.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5): 1–98.
- & Rikkinen, P. 1970. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Summary: Spruce saw logs as raw material of pulp. Folia For. 92: 1–16.
- Heiskanen, V. 1968. Kuusitukien laatuluokajakautuma Etelä-Suomessa. Summary: Grade distribution of spruce logs in southern Finland. Silva Fenn. 2(1): 1–18.
- 1976. Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974–1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974–1975. Folia For. 251: 1–64.
- & Rikkinen, P. 1976. Havusahatukien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia For. 250: 1–67.
- & Siimes, F. 1959. Tutkimus mäntysahatukien laatuluokituksesta. Paperi ja Puu 41(8): 359–368.
- Ijäs, M. 1983. Kuoren ja puujätteen poltto. Teoksessa: Kuitupuun käsittely n:o 2. INSKO 175–83 (VIII): 1–7.
- Kilkki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simuloimismenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 145: 1–33.
- Kärkkäinen, M. 1976. Havutukien kuoren tiheys ja kosteus. Summary: Density and moisture content of bark in pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 87(5): 1–24.
- 1979. Sahaussimulaattori povitaskussa. Sahamies 31(4): 102, 104, 106.
- 1980 a. Mäntytukirunkojen laatuluokitus. Summary: Grading of pine sawlog stems. Commun. Inst. For. Fenn. 96(5): 1–152.
- 1980 b. Tuloksia Rauman alueen mäntytukien sahausesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96(7): 1–43.
- 1984. Puutavaran mittauksen perusteet. Helsinki. 252 s.
- 1986. Puun mittausmenetelmien tavoitteet ja kehitys. Teoksessa: Sellu- ja paperiteknikka kehitty-
tyy – kehittykö puuhuolto. INSKO 67–86 (X): 1–13.
- & Björklund, T. 1983. Suomussalmelaisten mäntytukien koesahaustuloksia. Abstract: On the sawing of pine logs from Suomussalmi, north-eastern Finland. Folia For. 543: 1–16.
- & Kallinen, J. 1982. Kemin seudun mäntytukien koesahaustuloksia. Abstract: On the sawing of pine logs from northern Finland, Kemi region. Folia For. 521: 1–16.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Summary: Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and top-logging diameter. Folia For. 233: 1–20.
- 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Commun. Inst. For. Fenn. 108: 1–74.
- Orver, M. 1973. En jämförelse mellan några apteringsalternativ för tallstammar. Summary: A comparison between some marking alternatives for cross cutting for Scots pine stems. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 84: 1–47 + taulukot.
- PMP-ohje. Julk. PMP-systeemin hoitokunta. (Täydennettävä rengaskansio, alkup. 1982).
- PMT-ohje. Julk. Keskusmetsälautakunta Tapio. (Täydennettävä rengaskansio, alkup. 1985).
- Riddelin, A. 1893. Sahapuiden kuutioittain ja puittain tarjoaminen kruununmetsistä. Finska Forstfören. Medd. 11: 39–44.
- Saari, E. & Seppälä, A. 1967. Bibliographia universalis silviculturae. Suomi – Finlandia usque ad annum MCMXXXIII. Pars I Systematica. Suomen Metsätieteellinen Seura. Helsinki. 841 s.
- Saikka, O. & Rikkinen, P. 1976. Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount of pulpwood and factors affecting it. Folia For. 262: 1–22.
- Seppälä, J. 1912. Muutamia näkökohtia tukkimetsän myynnistä määrättyyn mittaan. Tapio 5(4): 125–128.
- Siimes, F. 1960. Tutkimus kuusitukien ominaisuuksista ja tukkilaadun vaikutuksesta sahatavaraain laatuun sekä alustava ehdotus kuusisahatukien laatuluokitusta varten. Paperi ja Puu 42(3): 79–105.
- Svar till Hr G. E. Wasastjerna angående afverknig och virkes utlevering vid stamvis försäljning. 1897. Finska Forstfören. Medd. 14: 73–75.
- Wasastjerna, G. E. R. 1897. Angående afverknig och virkeslevering vid stamvis försäljning. Finska Forstfören. Medd. 14: 63–72.

Total of 30 references